



TEADMISTE PÕHIVARA BIOLOOGILISTES AINETES

1989

TARTU RIIKLIK ÜLIKOOL

Spordifüsioloogia kateeder

TEADMISTE PÕHIVARA BIOLOOGILISTES AINETES

Atko Vjru Jaan Pärnat Paavo Kõrge

Tõnis Matsin Teet Seene

Õppematerjal kehakultuuriteaduskonna
üliõpilastele

TARTU 1989

Kinnitatud kehakultuuriteaduskonna nõukogus 26. detsembril 1988.a.

Arh.
Tartu Ülikooli
KUSTUTATUD Raamatukogu
10285

EESSONA

Spetsialisti määravad teadmised ja oskused, millele ajapikku lisandub kogemus. Tarkusvara realiseerimiseks kutsetöös on tarvilik veel kiindumus elukutsesse.

Ülikooliteadmised jagunevad tegelikult kolme ossa. Esimeseks on teadmiste raudvara, ilma milleta pole spetsialisti ja diplom jääb tühjaks paberiks. Teiseks on sellised teadmised, mis on tarvilikud aine kui terviku mõistmiseks, raudvara hulka kuuluvate teadmiste põhjendamiseks, argumenteerimiseks ja edasiarendamiseks. Hilisemas tegevuses ei pruugi neid spetsialistil tarvis minna, kuid ilma nendeta jääb õppematerjali omandamine mehhaaniliseks tuupimiseks. Küll aga läheb neid teadmisi spetsialistil tarvis siis, kui ta tahab oma tegevust täiustada, kui ta lülitub teadustöösse. Need teadmised võivad ununeda, kuid kui nad on kord omandatud, siis on vajadusel neid kerge taastada. Siia gruppi kuuluvad ka mitmesugused infomaterjalid, mille talletamine mällu pole võimalik, kuid mida spetsialist peab suutma kiiresti leida käsiraamatutest ning milles ta peab suutma orienteeruda.

Kolmas osa teadmisi põhineb tudengi tungil süüvida sügavuti ainesse, lugeda ja õppida märksa rohkem kui nõutakse, kujundada ennast põhjalike teadmistega spetsialistiks. Selle osa ulatus on praktiliselt ammendamatult ning täiuslikkuse saavutamiseks on tarvis tolle tungi dünamoogenne mõju kogu elu vältel.

Käesolev õppematerjal teeb katse summeerida kehakultuurispetsialisti teadmiste raudvara füsioloogias ja biokeemias. Teadmata käesolevas konspektis leiduvat, pole mõtet eksamile tulla - ilma teadmiste raudvarata pole spetsialisti, seega pole õppejõul ka õigust panna rahuldavat hinnet. Samas aga tuleb mõista, et raudvarast üksi ei piisa. Nelja saamiseks, rääkimata kõrgemast hinded, tuleb osata raudvara teadmisi põhjendada, selgitada, argumenteerida. Seega, selgeks peab olema saanud kogu programmmaterjal.

Konsultatsioonides on sagedaseks küsimuseks, mil-liseid arvandmeid tuleb teada. Pakutakse ju loengutel ja õpikutes neid tabelite kaupa ning pole reaalne, et kõik see talletuks mällu. Ka selles suhtes püüab käesolev väljaanne anda juhise. Siin toodud arvud ja konstandid kuuluvad raudvara hulka ja neid tuleb teada. Kuid ikkagi ei tohi õpikus ja loengukonspektides olevatest tabelitest ja graafikutest mööda vaadata, sest just nende abil kujuneb õige arusaam materjalist ning oskus põhjendada teadmiste raudvara.

BIOKEEMIA

Biokeemia õpetamise eesmärgiks kehakultuuriteaduskonnas on tõsta treeneritöö efektiivsust, eriti nendel spordialadel, mis on seotud jõu, kiiruse ja vastupidavuse arendamisega. Biokeemia kursuses saadud teoreetilised teadmised peavad looma aluse järgmiste praktiliste ülesannete lahendamisele: 1) treeninguplaanide koostamine kehaliste võimete arendamiseks, 2) nende plaanide realiseerimise efektiivsuse kontroll sportlase biokeemilise testimisega, 3) ratsionaalse söögi- ja joogirežiimi kindlustamine, kaasa arvatud toitlustamine distantsil, 4) spordis kasutatavate dopingainete, nende toimetehhanismide ning kahjuliku mõju tundmine, vältimaks dopingainete kasutamist spordis.

Teooria seos praktikaga. Teoreetilised teadmised, mis on vajalikud nende praktiliste ülesannete lahendamiseks, kuuluvad biokeemia kursuse põhitõdede hulka ja hõlmavad teadmisi eluprotsesside füüsikalis-keemilistest alustest, staatilisest biokeemiast, dünaamilisest biokeemiast ja spordibiokeemiast. Seejuures on tähtis nende teadmiste komplekssus, sest probleemi ühekülgsele tundmisel võib praktilise probleemi lahendus jääda poolikuks või isegi vääraks.

Konkreetsuse saavutamiseks võib tuua järgmise lihtsa näite. Üldiselt on teada, et mitmeid tunde kestvate kehaliste pingutuste ajal on kasulik tarvitada glükoosi sisaldavaid jooke. Näib, et pole midagi lihtsamat kui jook valmistada ja seda siis distantsil tarvitada. Kuid selle probleemi lahendamisel kerkib rida küsimusi, mis nõuavad konkreetset vastust. Näiteks, milline peaks olema glükoosi kontsentratsioon joogis ja millisel distantsilõigul või -lõikudel tuleks jooki tarvitada? Probleemi analüüs viib meid ka küsimuseni, milleks üldse manustatakse distantsil glükoosi? Vastuse nendele küsimustele saame järgmistest staatilis-dünaamilise ja spordibiokeemia valdkonda kuuluvatest teadmistest. On teada, et pikaajaline kehaline pingutus võib põhjustada ulatuslikku vere glükoositaseme langust ehk seisundit, mida nimetatakse hüpoglükeemiaks. See seisund viib töövõime langusele ja väsimuse tekkele, kuna organism ei saa lubada vere glükoosisisalduse ulatuslikku langust, mille tagajärjel kannataks peaaegu varustamine glükoosiga. Verega tulev glükoos on peaaegu põhiliseks energiaallikaks. Seega peab glükoosi kasutamine distantsil

ära hoidma glükoosi hulga vähenemise veres. Teades glükoosi imendumise kiirust seedetraktist verre ja vere glükoosisisalduse (või vastavate andmete puudumisel subjektiivse enesetunde) muutusi distantstil, võime konkreetselt määrata glükoosi manustamise koha või aja. Seejuures peab teadma, et oligo- või polüsahhariidide kasutamisel pikeneb nende imendumisaeg eelneva fermentatiivse hüdroolüüsi tõttu. Küsimuse õige lahendamine eeldab ka nii süsivesikuainevahetuse regulatsiooni kui ka hormoonide osa tundmist ainevahetuse regulatsioonis. Need teadmised võimaldavad hinnata glükoosi manustamise efektiivsust distantsi alguses ja esimesel poolel, siis kui vere glükoositase on normis või isegi normist kõrgem. Glükoosi manustamine ja sellele järgnev vere glükoosisisalduse tõus põhjustab insuliini sekretsiooni suurenemise, mis on vajalik vere glükoositaseme normaliseerimiseks. Kuid insuliin pidurdab lipolüüsi, vähendades võimalusi kasutada energiaallikana rasvu, mis teatavasti on põhiliseks energiaallikaks pikaajaliste pingutuste puhul.

Loomulikult ei ole distantstil joogi manustamise ainsaks eesmärgiks vere glükoosisisalduse normaliseerimine. Kõrvuti selle ülesandega tuleb tähtsaks pidada ka organismi veekaotuse asendamist, mis võib pikaajaliste pingutuste puhul olla küllaltki suur, 4 - 5 liitrit. Organismi dehüdratatsiooniga kaasneb aga töövõime langus, mis muutub usaldatavalt registreeritavaks siis, kui dehüdratatsiooni suurus ületab 3 % kehakaalust. Uuringud on näidanud, et manustatud vedeliku imendumise kiirus sõltub selle kontsentratsioonist glükoosi suhtes: kontsentratsiooni tõusul üle teatud piiri aeglustub vedeliku lahukumine maost, mistõttu langeb ka kudede dehüdratatsiooni vähendamise efektiivsus.

Nii tööaegse kui ka tööjärgse joogirežiimi efektiivsus sõltub sellest, kas arvestatakse seaduspärasusi, mis reguleerivad vee ja elektrolüütide tasakaalu organismi vedelikruumide vahel. Nende seaduspärasuste miteteadmine või ignoreerimine võib põhjustada rakisest hüperhüdratatsiooni, millega raskemal juhul kaasnevad krambid töötavates lihastes. Joogisegu koostamisel tuleb arvestada ka paljusid teisi ainevahetuse seaduspärasusi. Nii näiteks võib glükoosisisalduse tõus veres ja sellele järgnev ulatuslik glükoosi liikumine rakkudes põhjustada hüpokalieemiat, millega omakorda, sõltuvalt viimase ulatusest, kaasneb adünaamia ehk üldine nõrkus. Energeetilise tähtsusega substraatide ja mineraalainete kõrval kasutatakse joogisegudes sageli ka vitamiine, millede lisamisel on vaja teada nende osa ainevahetuse regulatsioonis, soovitatavaid koguseid ja üledoseeringu võimalikku kahjulikku mõju.

Eespooltoodu ei ole lõplik loetelu nendest teoreetilistest teadmistest, milleta pole võimalik ühe lihtsana tunduva probleemi efektiivne lahendamine spordipraktikas.

Elutegevusprotsesside füüsikalis-keemilised alused

Ehitusplokkid - organismi ehitusplokkideks on monosahhariidid, aminohapped, glütserool ja rasvhapped ning mononukleotiidid. Ehitusplokke (v.a. mononukleotiidid) saab organism toiduga sahhariidide, valkude ja rasvade kujul. Seedekulglas lagundatakse need toitained ensüümide abil ehitusplokkideks, mis seejärel imenduvad verre ja kasutatakse organismis vastavalt vajadustele kas keerukamate ühendite sünteesiks või energiaallikana. Seega on iga-päevase toitumise ülesanne kindlustada organism ehitusplokkidega, mille kõrval vajab organism veel vett, mineraalaineid ja vitamiine.

pH on negatiivne kümnendiklogaritm vesinikioonide kontsentratsioonist, mis näitab keskkonna reaktsiooni. Keskkond võib olla neutraalne ($\text{pH} = 7$), aluseline ($\text{pH} > 7$) või happeline ($\text{pH} < 7$). Keemilisi reaktsioone katalüüsivate ensüümide aktiivsus sõltub keskkonna reaktsioonist ja on maksimaalne ainult teatud pH väärtuste korral. Nii pH väärtuste tõusul kui ka langusel ensüümide aktiivsus langeb, enamikul juhtudel ei pea pH muutus olema ulatuslik. Selle seose teadmine aitab mõista, miks intensiivse kehalise töö puhul laktaadi produktsioon ja järelikult ka glükolüütiline fosforüülimine pidurduvad ning töö intensiivsus langeb, kuigi lihaste glükogeenisisaldus võiks kindlustada ATP resünteesi veel pika aja vältel.

Puhverüsteemid, milleks on organismis valk-, bikarbonaat- ja fosfaatpuhver, püüavad säilitada keskkonna pH väärtuse püsivana, vaatamata hapete või aluste täiendavale juurdetulekule sinna keskkonda.

Atsidoos on seisund, mis tekib pH languse tõttu biooloogilistes vedelikes. Atsidoos võib tekkida happeliste ainevahetusproduktide kuhjumisel (metaboolne atsidoos) või CO_2 sisalduse tõusu tõttu keskkonnas (respiratoorne atsidoos).

Alkaloos on seisund, mis tekib pH tõusu tõttu biooloogilistes vedelikes.

Osmoos on protsess, mis seisneb lahusti liikumises läbi poolläbilaskva membraani madalama kontsentratsiooniga keskkonnast kõrgema kontsentratsiooniga keskkonda. Lahusti molekulide liikumine toimub seni, kuni kontsentratsioonid mõlemal pool membraani võrdsustuvad.

Süsivesikud ehk sahhariidid on looduses kõige levinum orgaaniliste ühendite klass. Nad koosnevad süsinikust, vesinikust ja hapnikust, kusjuures enamikus sahhariidides on vesiniku ja hapniku atomaarne suhe 2 : 1, s.t. selline nagu veemolekulis. Siit ka nimetus süsivesikud.

Sahhariidide bioloogiline tähtsus seisneb selles, et nad on rakkude vahetuks ja kergesti kasutatavaks (ka O_2 puudusel) energiaallikaks, organismi energiaallikaks varuaineks ja rakkude ning mitmete bioloogiliselt aktiivsete ainete ehitusmaterjaliks.

Loomsetes kudedes leidub sahhariide põhiliselt glükogeenina, veres glükoosina. Eriti palju on glükogeeni maksas (kuni 10 % organi kaalust). Vere glükooisisaldust püüab organism säilitada 80 - 120 mg% vahel. Glükooisitase langusel alla 80 mg% tekib seisund, mida nimetatakse hüpoglükeemiaks.

Hüpoglükeemia süvenemine on organismile ohtlik, sest aju tarbib põhilise energiaallikana verrega tema rakkudesse tulevat glükooosi. Vere glükooisisalduse ulatusliku languse tagajärjel (~ 40 mg%) võib tekkida hüpoglükeemiline šokk.

Vere glükooisisaldust aitab säilitada maks, kust glükogeenivarude mobiliseerimise tulemusena väljub glükooos verre. Glükogeenivarude lõppemise korral on vere glükooisisaldust võimalik säilitada veel glükoneogeneesi abil. Glükoneogenees toimub maksas ja vähemal määral ka neerudes ning seisneb glükooosi sünteesis laktaadist, püruvaadist või teistest glükoolüüsi vaheproductidest, aga ka oksaalatsetaadist, glütseroolist ja aminohapetest. Seisundit, mis areneb vere glükooisisalduse tõusul üle normi, nimetatakse hüperglükeemiaks. Vere glükooisisalduse ulatuslik tõus, mis toimub kas suure suhkrukoguse manustamisel või seoses insuliini ebapiisava sünteesi ja sekretsiooniga, põhjustab glükooosi eritumise uriiniga ehk glükosuuria. Viimane algab siis, kui vere glükooisisalduse tõus ületab neerude võime glükooosi reabsorbeerida.

Sahhariide kasutatakse energiaallikana aeroobsetel ja erinevalt rasvadest ka anaeroobsetel tingimustel. Glükoolüüs on glükooosi järkjärguline ensümaatiline lagundamine, mis anaeroobsetes tingimustes viib piimhappe (laktaadi) kuhjumisele. Selle protsessi käigus tekkivaid makroergilisi vaheühendeid kasutatakse ATP resünteesiks. Glükogenolüüs on glükogeeni lagundamine ensüüm fosforülaasi abil, mille tulemusel tekib vaba glükooos või glükooos-1-fosfaat. Glükooosi aeroobsel oksüdatsioonil püruvaadist laktaati ei teki, vaid toimub püruvaadi edasine oksüdatsioon.

Krebsi tsükkel ehk tsitraaditsükkel on mitokondrites funktsioneeriv tsükkel, mis algab atsetüül-CoA ja oksalaatsetaadi vahelise reaktsiooniga ja mille ees-

märgiks on hingamisahele varustamine elektronidega. Ohes tsüklis toimub 4 vaheühendite dehüdrogeenimist (vesinikuaatomi äravõtmist). Hingamisahele on mitokondri sisemembraanil paiknev flavoproteiididest, hemoproteiididest ja teistest rauda sisaldavatest proteiididest koosnev süsteem, mis transpordib elektrone oksüdeeritavalt substraadilt hapnikule kui elektronide lõppaktseptorile.

Lipiideks nimetatakse suurt gruppi orgaanilisi ühendeid, mis on looduses laialt levinud ja mille üldiseks iseloomulikuks tunnuseks on lahustumatus vees, kuid hea lahustuvus orgaanilistes solventides. Kõik inimeses leiduvad rasvad on triglütseriidide segud, s.t. glütserooli ja kõrgemate rasvhapete estrid. Lipiidide koostises olevad rasvhapped võivad sisaldada kaksiksidemeid, mistõttu neid nimetatakse küllastumata rasvhapeteks, kaksiksidemeid mitesisaldavaid aga küllastunud rasvhapeteks. Kaksiksidemete sisaldust rasvas saab määrata joodiga tiitrimisel.

Joodiarv on 100 g rasvas seotud joodi hulk grammides. Mida kõrgem on joodiarv, seda vedelam on rasv toatemperatuuril.

Rasvade ja rasvataoliste ainete ehk lipiidide bioloogiline tähtsus: kuuluvad rakkude koostisesse ehitusainena (struktuurne rasv), on energiaallikaks; fikseerivad siiseorganeid, närve, veresooni; võtavad osa organismi termoregulatsioonist; on lahustiks paljudele vitamiinidele; nendest sünteesitakse mitmeid bioloogiliselt aktiivseid aineid.

Lipaasid on ensüümid, mis lõhustavad lipiide glütserooliks ja rasvhapeteks. Selleks, et lipaasid saaksid oma toimet avaldada seadekulglas, on rasvu vaja emulgeerida. Emulgaatoriteks on sapphapete soolad.

Lipoiüüs on lipiidide hüdrofüütiline lagundamine lipaaside abil, moodustuvad glütserool ja rasvhapped.

Lipogenees on lipiidide süntees.

β -oksidatsioon on mitokondrites toimuv fermentatiivne protsess, mille käigus rasvhapped lagundatakse oksüdatiivselt kahest süsivesikust koosnevateks fragmentideks, mis atsetüül-CoA kujul sisenevad tsitraadi-tsükklisse, kus toimub nende lõplik oksüdatiivne lagundamine.

Ketokehad on atsetoäädikhape, atsetoon, β -hüdroksüvõihape. Need ühendid tekivad maksas siis, kui on häiritud atsetüül-CoA normaalne oksüdatsioon maksa mitokondrites sahhariidide oksüdatsiooni madala intensiivsuse tõttu (nälgimisel, pikaajalisel kurnaval kehalisel pingutusel).

Valgud ehk proteiinid on kõrgmolekulaarsed ühendid, mis koosnevad omavahel peptiidsidemega (CO-NH) ühendatud aminohapetest.

Proteiinid ehk **liitvalgud** sisaldavad valgu kõrval veel mittevalgulist osa.

Aminohapped on ühendid, mis sisaldavad üheaegselt nii amino- ($-NH_2$) kui ka karboksüül- ($-COOH$) gruppi. Valkude koostises võib olla kuni 20 erinevat aminohapet. Inimese organismis sünteesitakse 10 aminohapet, mistõttu neid aminohappeid nimetatakse asendatavateks. Ülejäänud 10 aminohapet peab organism saama toiduga, neid nimetatakse asendamatuteks aminohapeteks.

Valkude bioloogiline tähtsus on väga mitmekesine. Valkudega on seotud elu põhilised avaldusvormid: kasv, paljunemine, liikumine, ainevahetus (ensüümid).

Organismis toimub pidevalt valkude lagunemine ja süntees. Nende protsesside vahetorka iseloomustab lämmastikutasakaal.

Negatiivne lämmastikutasakaal on seisund, kus organism saab vähem lämmastikku, kui ta samal ajavahemikul kaotab, positiivne lämmastikutasakaal on vastupidine seisund.

Seedekulglas lagundatakse toidus leiduv valk ensüümide abil aminohapeteks, mis imenduvad verre. Maos on proteolüütiline ensüüm pepsiin mitteaktiivsel kujul (proensüümina) pepsinogeenina. Pepsinogeeni muutumine pepsiiniks toimub autokatalüütiliselt, happelises keskkonnas. Kõhunäärmenõres on proteolüütiliste ensüümide proensüümid trüpsinogeen ja kümotrüpsinogeen. Trüpsinogeen muutub ensüüm enteropeptidaasi toimel trüpsiiniks ja kümotrüpsinogeen trüpsiini toimel kümotrüpsiiniks. Nende ensüümide toime tulemusel moodustuvad väikesed polüpeptiidid ja vabad aminohapped.

Organismis aminohapetest sünteesitud valgud on väga spetsiifilised biomolekulid. Nende kümnete tuhandete erinevate biomolekulide ülesehitamine toimub vastavalt informatsioonile, mis sisaldub rakkude DNH struktuuris. Seda informatsiooni nimetatakse geneetiliseks informatsiooniks.

Geen - lõik DNH struktuuris, mis määrab informatsiooniribonukleiinhappe (iRNH) kaudu aminohapete paiknemise polüpeptiidahelas ehk valgumolekuli primaarstruktuuri. Peab silmas pidama, et DNH pinnal sünteesitakse iRNH kõrval ka ribosoomi-RNH ja transpordi-RNH, kuid nende geenide arv on suhteliselt väike.

DNH - desoksüribonukleiinhape on desoksüriboosi sisaldavatest nukleotiididest moodustunud polümeer, mis paikneb rakutuumades, kromosoomides ja on geneetilise informatsiooni materiaalseks kandjaks. Puriin- ja pürimidiinialustest on DNH koostises vastavalt adeniini ja guaniini ning tümiini ja tsütosiini. DNH molekul koosneb kahest teineteise ümber keerdunud polünukleotiidahelast, kusjuures eri ahelates asuvad puriin- ja

pürimidiinalused moodustavad vesiniksidemete abil paarid adeniin-tümiin, guaniin-tsütosiin.

Valgu süntees toimub rakus ribosoomidel. Ribosoomid, mis on ehitatud ribonukleiinhappest ja valgust, koosnevad suuremast ja väiksemast allühikust ning paiknevad raku tsütoplasmas või on seotud endoplasmaatilise retiikulumiga. Viimastel sünteesitakse valke, mis kuuluvad sellest rakust väljaviimisele.

Informatsioon valgumolekuli ehitusest tuleb ribosoomile informatsiooni-RNHga (iRNH), mis sünteesitakse rakutuumas DNH pinnal, kasutades DNHD matriitsina. Seda protsessi nimetatakse transkriptsiooniks. Sünteesitud iRNH suurus (molekulmass) varieerub, sõltudes valgust, mille ehitust ta kodeerib. Ribosoom seostub iRNHga ja kui viimane on pika ahelaga, s.t. kodeerib suure molekulmassiga valku, siis seostub iRNHga mitu ribosoomi. Sellisel juhul räägitakse polüribosoomi moodustumisest. Aminohapete järjestus on iRNHs kodeeritud koodonite ehk tripletidega.

Koodon ehk triplet on kombinatsioon kolmest nukleotiidist, mis kodeerib mingit kindlat aminohapet. iRNH liigub ribosoomi pinnal ja transpordi-RNH (tRNH) toob tsütoplasmast vajaliku aminohappe ribosoomile. On olemas vähemalt 20 struktuurilt sarnast (ristikheinalaekujulist), kuid erinevat tRNH molekulitüüpi, mis on võimalised kovalentselt siduma kindla aminohappe ja samuti seostuma iRNH teatud koodoniga. Viimast tRNH osa nimetatakse antikoodoniks. Enne sidumist tRNHga aktiveeritakse aminohape ATP ja ensüüm aminoatsüülsüntetaasi kaasabil. Aminohappe sidumine on erakordselt täpne protsess ja vigu (vale aminohappe sidumist) juhtub siin väga harva. Ribosoomi pinnal on erilised kohad, mis seovad nii aminohappe-tRNH-kompleksi kui ka kasvavat polüpeptiidahelat. Ahelal on kaks otsa, ahel hakkab kasvama otsast, kus aminohappel jääb vabaks aminorühm ($-NH_2$), ja lõpeb aminohappega, millel jääb vabaks karboksüülrühm ($-COOH$). Iga aminohappe toomise ja ribosoomil peptiidside tekke järel liigub iRNH molekul edasi ühe tripleti võrra. iRNH molekuli lõpus on eriline koodon, mis viitab sellele, et polüpeptiidahela süntees on lõppenud. Peptiidahel vabaneb ja võtab vastavale valgule iseloomuliku ruumilise kuju. Kogu protsessi, mille abil iRNH-molekulis sisalduv geneetiline informatsioon muutub aminohapete järjestuseks peptiidahelas, nimetatakse translatsiooniks.

Aminohapetega toimub organismis mitmesuguseid muutusi. Neid võidakse desamiinida, s.t. nad kaotavad oma aminorühma, mille tulemusel tekib α -ketohape ja ammoniaak; ümber- ehk transamiinida, mille käigus toimub aminorühma ülekandmine aminohappelt α -ketohappele ja

viimastest moodustub uus aminohape, dekarboksüülida, mille käigus aminohape kaotab karboksüülrühma ja muutub amiiniks.

Okส์datiivsel desamiinimisel moodustub ammoniaak, mis eraldatakse neerude kaudu kas ammooniumisoolade kujul või kasutatakse maksas lämmastikuainevahetuse lõppprodukti uurea ehk kusiaine sünteesiks. Täiskasvanud inimesel viiakse $3/4$ ekskreeteeritavatest lämmastikuühenditest organismist välja ureana.

Vee ja elektrolüütide vahetus toimub nii organismi ja väliskeskkonna kui ka organismi vedelikuruumide vahel. Organismi veesisaldus sõltub vanusest (kõige suurem vastsündinul ja väiksem raugal) ning organismi rasvasisaldusest (kuna rasvkude sisaldab suhteliselt vähe vett, on rasvunud inimese veesisaldus suhteliselt väike). Täiskasvanud inimesel moodustab vesi umbes 70 % kehakaalust. Lihtsustatud skeemi kohaselt jaotub see vesi kolme vedelikuruumi vahel. Eristatakse rakusisest ehk intratsellulaarset ruumi, kus paikneb rakusisene vedelik, ja rakkudevälist ehk ekstratsellulaarset ruumi, kus paikneb rakuväline vedelik. Viimane jaotub omakorda rakkudeväliseks ehk interstitsiaalruumiks ja soonesiseseks ehk intravaskulaarseks ruumiks. Ligikaudu 70 % organismis olevast veest paikneb rakkudes, ülejäänud 30 % rakuvälises ruumis. Nende ruumide vahel toimub pidev vee ja elektrolüütide vahetus. Kuigi rakuvälise keskkonna ioonne koostis erineb rakusisese keskkonnaioonest koostisest, on osmootselt aktiivsete ainete poolt määratud osmootne rõhk mõlemas ruumis võrdne. Teiste sõnadega, organismi vedelikuruumide vahel säilitatakse tasakaalu ioonse koostise, osmootse rõhu ja vedeliku mahu suhtes. Selle tasakaalu säilitamisel osalevad nii neuraalsed kui ka hormonaalsed regulatsioonimehhanismid.

Organism kaotab vett ja osmootselt aktiivseid aineid põhiliselt neerudega ja higistamisel. Higierituse suurenemisel kaotused neerudega kompensatoorselt vähenavad. Higi on vereplasma suhtes hüpotooniline vedelik, s.t. higma kaotatakse suhteliselt rohkem vett kui osmootselt aktiivseid aineid. Sellest hoolimata võivad organismi elektrolüütide kaotused rohke higierituse korral olla kaunis ulatuslikud, kuigi vereplasma osmootne rõhk on samaaegselt normis või kergelt suurenenud. Janu kustutamine veega, mis ei sisalda osmootselt aktiivseid aineid (Na^+ , Cl^- jne.), võib selles seisundis viia intratsellulaarsele hüperhüdratatsioonile ja viimasega kaasnevatele krampidele töötavates lihastes.

Lihase kontraktsiooni- ja lõõgastusmehhanismi põhilised lüüdid. Närviimpulsi tulemusel vabaneb mediaatoraine atsetüülkoliin, mille mõjul suureneb Na^+ läbitavus rakumembraanist. Naatriumioonid liiguvad rakuvälisest kesk-

konnast rakku. Seejärel vabanevad Ca^{2+} -ioonid sarkoplasmaatilisest retiikulumist, kus asub Ca^{2+} -rakusisene depoo. Mainitud nihetele ioones tasakaalus järgneb K^{+} väljumine rakust, mis on suunatud membraanilaengu tasakaalustamisele. Müoplasma Ca^{2+} -ioonide kontsentratsioon on lõõgastunud lihases madal, alla 10^{-7}M . Ca^{2+} kontsentratsiooni tõus müoplasmas üle selle kontsentratsiooni tingib nende ionide sidumise troponiini poolt. Troponiin on Ca^{2+} -tundlik valk, mis seob valikuliselt Ca^{2+} , tema molekulid paiknevad lihasrakus seotuna aktiinimolekulidega. Ca^{2+} sidumise tulemusel kaob troponiini pidurdav mõju tropomüosiinile, mis on teine regulatoorne, kontraktsioonimehhanismis osalev lihasvalk. Tropomüosiinimolekulid on samuti seotud aktiiniga ja paiknevad lõõgastunud lihases nii, et takistavad müosiinilt lähtuvate ristsillakeste kontakti aktiiniga. Ca^{2+} sidumine troponiiniga viib konformatsioonilistele muutustele, mis lõppkokkuvõttes võimaldavad aktiini ja müosiini vaheliste ristsillakeste tekke. Moodustunud ristsillakestega tõugatakse aktiiniiniidikesi jämedamate müosiiniiniidikeste vahele ja sarkomeer (lihase väikseim funktsionaalne ühik) lüheneb. Ristsillakeste liikumine vajab energiat ja seda energiat saadakse ATPst. ATPd hüdrolüüsib üks kontraktilsetest valkudest, müosiin, millel on ka ATPaasne aktiivsus. Seega on müosiin nii kontraktilne valk kui ka ensüüm. Ensümaatilist aktiivsust kannab see osa müosiinimolekulist, mis moodustab ristsillakesi. Lihaskontraktsiooni tugevus sõltub tekkinud ristsillakeste arvust, mis määratakse Ca^{2+} kontsentratsiooni tõusuga müoplasmas ja Ca^{2+} sidunud troponiini molekulide arvuga. Lihase lõõgastumiseks on vaja teatud ATP kontsentratsioon ja samuti taastada kontsentratsioonieelne ioonne tasakaal, s.t. langetada müoplasma Ca^{2+} kontsentratsiooni, eemaldada rakust sinna sisenenud Na^{+} ja tuua tagasi rakust väljunud K^{+} . Müoplasma Ca^{2+} taset langetab sarkoplasmaatilise retiikulumi membraanides paiknev Ca^{2+} -pump, mis töötab ATP hüdrolüüsil vabaneva energia arvel, transpordib Ca^{2+} müoplasmast tagasi sarkoplasmaatilisse retiikulumi, kus tema kontsentratsioon on vähemalt 1000 korda kõrgem kui müoplasmas. Rakumembraanides paiknev Na^{+} -, K^{+} -pump, mis samuti töötab ATPst saadava energia arvel, transpordib Na^{+} rakust välja ja K^{+} rakku. Ioonpumpade suurem võimsus valgetes lihaskiududes, võrreldes punastega, on üheks põhjuseks, miks valged kiud on võimelised kiiremini lõõgastuma ja järelikult ka kontraheeruma.

Ensüümid ehk biokatalüsaatorid on valgulise ehitusega biomolekulid, mis kiirendavad organismis mittespontaanselt toimuvaid keemilisi reaktsioone. Ensüümid on üldjuhul väga spetsiifilised, s.t. nad katalüüsivad ainult

mingit kindlat reaktsiooni. Ensüümide aktiivsust rakus reguleerivad mitu keskkonnafaktorit (substraadi, reaktsiooniprodukti ja mitmete metaboliitide kontsentratsioon, hormoonid, pH, temperatuur). Regulaarsete kehaliste harjutuste mõjul, sõltuvalt nende harjutuste iseloomust, mahust ja intensiivsusest, suureneb ensüümide kontsentratsioon rakkudes. See muutus on üks olulisemaid, mille kaudu realiseerub regulaarsete kehaliste harjutuste mõju organismi kehalistele võimetele.

Vitamiinideks nimetatakse suurt gruppi madalmolekulaarseid orgaanilisi ühendeid, mida organismis ei sünteesita, kuid mis on ainevahetuse normaalseks kulgemiseks hädavajalikud. Vitamiinid jaotatakse rasvlahustuvateks ja vesilahustuvateks. Vitamiinipuudusel toidus areneb seisund, mida nimetatakse avitaminoosiks. Vitamiini leidumisel toidus vähem kui organism vajab, tekib hüpovitaminoos.

Hormoonid on bioloogiliselt aktiivsed ained, mida eritavad verre sisesekretsiooninäärmed ja mis mõjuvad ainevahetusele, muutes ensüümide aktiivsust. Oma keemiliselt ehituselt võib hormoonid jaotada kolme rühma: valk- ja polüpeptiidhormoonid, steroidhormoonid, aminohapete derivaadid. Hormoonide mõju ainevahetusele kirjeldatakse selle õppematerjali füsioloogia osas (vt. lk. 29).

Lihastöö energieetika. Vahetuks energiaallikaks lihas- kontraktsioonil ja lõõgastumisel on ATP. ATP sisaldus lihasrakkudes on aga väike ja kui ei toimuks ATP resünteesi, siis jätkuks sellest kogusest maksimaalse intensiivsusega töö ajal 1 - 2 sekundiks. ATP resünteesi intensiivsust rakkudes reguleerib ADP/ATP suhe, mis muutub vastavalt ATP hüdroolüüsi intensiivsusele. Funktsioneerib neli ATP resünteesimehhanismi: kolm neist võivad funktsioneerida anaeroobses ja üks ainult aeroobses keskkonnas. Väga kiireks ja efektiivseks ATP resünteesi mooduseks on kreatiinkinaasne reaktsioon, mis seisneb makroergilise fosfaatrühma ülekandes kreatiinfosfaadilt ADPlle. Maksimaalselt intensiivse kehalise pingutuse puhul lülitataksegi kõigepealt sisse see ATP resünteesimehhanism, kuid seoses kreatiinfosfaadi varude langusega rakkudes väheneb selle mehhanismi osatähtsus ATP taseme säilitamisel ja suureneb glükolüüsi osatähtsus. Viimase üha suurenevast osast intensiivse pingutuse jätkamisel räägib laktaadi kontsentratsiooni pidev tõus lihastes ja veres. Laktaadi kuhjumine tingib pH languse, see omakorda hakkab inhibeerima glükolüüsi, takistades seeläbi pH langust allapoole kriitilist taset (arteriaalse vere jaoks pH 6,8). Paralleelselt glükolüüsi osa vähenemisega ATP taseme säilitamisel suureneb intensiivse pingutuse pikenedes oksüdatiivse fosforüülimise tähtsus. Viimase mehhanismi funktsioneerib

sioneerimiseks peab aga rakke (neis paiknevad mitokondrid) varustama hapnikuga. Oksüdatiivse fosforüülimisega kaasneb suur energieetiline efektiivsus. Energiat ATP resünteesiks saadakse mitte ainult sahhariididest, vaid ka lipiididest ja aminohapetest ning lõpp-produktidena moodustuvad ATP kõrval CO_2 ja H_2O . Treenitud organism kasutab sahhariide ökonoomsemalt, mis on võimalik lipiidide suurema kasutamise tõttu. Mainitud ATP resünteesimehhanismide kõrval on võimalik ATP taset säilitada ka müokinaasse reaktsiooni abil, mille käigus ADP fosforüülitakse teist ADP molekuli kasutades. Kehaline treening sõltuvalt iseloomust tõstab ATP resünteesimehhanismi(de) võimsust. Siin avaldub hästi üks spordibiokeemiliste uuringutega tuvastatud põhiline seaduspärasus: treeningutel toimuvad adaptiivsed muutused ainevahetuses ja rakustruktuurides on spetsiifilised, s.t. sõltuvad kasutatud koormuste iseloomust, mahust ja intensiivsusest. Teiste sõnadega, kreatiinfosfaadisalduse tõusu lihastes võib oodata ainult siis, kui kehalised pingutused on kreatiinkinaasset reaktsiooni küllaldasel määral aktiveerinud, mitokondriaalaparaadi võimsus aga suureneb siis, kui harjutused aktiveerivad piisavalt mitokondrite funktsiooni (oksüdatiivset fosforüülimist). Jõuharjutused stimuleerivad kontraktilsete valkude sünteesi, mis väljendub vastavate lihaste hüpertroofias ja jõunäitajate suurenemises, vastupidavusharjutused aga näiteks mitokondriaalsete valkude sünteesi, mis väljendub O_2 utilisatsioonivõimaluste suurenemises.

Tähtsaks biokeemia-alaste uuringute tulemuseks on ka superkompensatsiooni seaduspärasuse kindlakstegemine. Tööjärgsel perioodil toimub töö ajal kulutatud energiaallikate süntees, kusjuures teatud aja möödudes ületab sünteesitava substraadi sisaldus isegi pingutuseelse taseme, langedes hilisemalt tagasi algtasemele. Seda ajavahemikku, mille vältel töö ajal tarbitud energiaallika sisaldus on tööjärgsel taastumisperioodil algtasemest kõrgem, nimetatakse superkompensatsioonifaasiks. Taastumine areneb erinevate substraatide suhtes erineva kiirusega, mis näitab, et biokeemiliste parameetrite taastumine toimub heterokroonselt. Selle kõrval sõltub iga konkreetse substraadi taastumise kiirus ja superkompensatsioonifaasi ulatus substraadi kasutamise intensiivsusest (ulatuselt) töö ajal. Järgmist treeningut peaks alustama superkompensatsioonifaasis, siis kui rakkude energieetiline potentsiaal on kõrgemal algtasemest. Pikaajalise ja raske pingutuse järel, mis põhjustab rakkudes leiduvate energiaallikate ulatusliku languse, toimub nende taastumine aeglasemalt, kuid superkompensatsioon

on suurem. Kui järgmine treening algab regulaarselt mittetäieliku taastumise foonil, viib selline režiim organismi kurnatusele, ületreeningule.

Tänapäeva spordis kasutatakse taastumisprotsessi kiirendamiseks mitmesuguseid farmakoloogilisi preparaate, millest kõige efektiivsemaks on osutunud anaboolsed steroidid. Anaboolsed steroidid on meessuguhormoon testosteroonid. Nende sünteesimisel on püütud vähendada nende hormoonide mõju sugusfääri-
le ja suurendada anaboolset, s.t. valgu sünteesi stimuleerivat toimet. Kuigi anaboolsed steroidid võimaldavad sportlastel treenida suurte koormustega, mis hormoonide kasutamiseteta viiksid ületreeningule, on nad kantud dopingute nimekirja ja nende kasutamine on spordieetika seisukohalt lubamatu. Anaboolsetel steroididel on ka tervist kahjustav toime.

Treeningukoormuse paljukordsel kordumisel organism kohaneb (adapteerub) sellega. Subjektiivselt väljendub kohanemine selles, et antud raskusega pingutusi on kergem sooritada. Biokeemiliselt väljendub kohanemine asjaolus, et antud pingutused kutsuvad esile väiksemaid muutusi organismi sisekeskkonna parameetrites. Teiste sõnadega võib öelda, et seoses treenituse kasvuga vähenevad standardsete kehaliste koormuste esilekutsutud nihked organismi sisekeskkonnas. Ühelt poolt on see treenituse näitaja, kuid teiselt poolt saab just kohanemine antud koormustega põhjuseks, mis takistab edasist arengut. Siit tuleneb ka vajadus treeningukoormuste järkjärguliseks suurendamiseks. Madalama treenitusega sportlastel on koormuste tõstmine võimalik ja efektiivne, kuid kõrge treenitusega sportlased, kes treenivad kaks korda päevas suurte koormustega, pole tavaliselt võimalised koormusi oluliselt suurendama. Tagajärjeks on sportliku resultaadi paranemise aeglustumine ja platoo teke.

Nii lühiajaline ja intensiivne kui ka pikaajaline ja kurnav keheline pingutus põhjustavad väsimuse tekke. Viimasel juhul on väsimuse teke seotud suuresti kesknärvisüsteemist lähtuva pidurdusreaktsiooniga, mille ülesandeks on organismi ressursside fataalse ärakasutamise vältimine. Kuid töövõime languses ja väsimuse tekkes on oluline tähtsus ka lihastes tekkival lokaalsetel muutustel. Intensiivse anaeroobse töö puhul on põhiliseks muutuseks pli langus lihasrakkudes, mis pidurdab ATP tootmist glükolüüsil ja mis võib vähendada Ca^{2+} sidumist troponiiniga ning müofibrillide Ca^{2+} -tundlikkust. Pikaajalise aeroobse töö puhul on oluline osa glükogeenivarude vähenemisel maksas (mõju vereglükoosile) ja lihastes.

Spordibiokeemia-alaste teadmiste praktiline rea-

liseerimine on selgesti väljendunud sportlase treenitusseisundi hindamisel ja toitlustamise organiseerimisel.

Treenitusseisundi hindamise biokeemiliste kriteeriumide valikul tuleb eristada näitajaid, mis muutuvad kehalise pingutuse ajal sõltuvalt organismi treenitusest ja kasutatud koormusest (laktaat, happeleelistasakaalu näitajad, hormoonide kontsentratsioon veres), kehalise pingutuse järgsel taastumisperioodil (uurea) või korduvate treeningute mõjul (glükogeen, triglütseriidid).

Sportlaste menüü koostamisel peab tuginema mitmele teoreetilisele seisukohale. Seedeorganite talitluse seisukohalt on optimaalne sellise toidukoguse tarbimine, mis annab 50 - 70 kcal 1 kg kehakaalu kohta 24 tunnis. Need andmed ühtivad hästi kaudse kalorimeetria kasutamisel saadud tulemustega, mis näitavad, et sportlastel, kes treenivad pikaajaliselt ja intensiivselt (jalgratturid, suusatajad) on energiakulu keskmiselt 70 - 72 kcal/kg/24 t. Seega 70 kg raskuse intensiivselt treeniva meessportlase ööpäevane energiakulu ja ka-vajadus ei ületa 4900 - 5000 kilokalorit, naistel on aga see 12 - 15 % madalam. Järgmine küsimus, mis tuleks lahendada, on valkude, rasvade ja süsivesikute õige vahekord toidus. Teades sportlastele soovitatud kaalu-list vahekorda, mis on vastavalt 1 : 0,7 : 4 ja kalorilisi ekvivalente (1 g süsivesikuid ja valke annab 4,1 kcal, 1 g rasvu 9,3 kcal) võib arvutada 1) millise osa ööpäevasest kalorsusest peaks sportlane katma valkudega, süsivesikutega ja rasvadega ja 2) mitu grammi valke, süsivesikuid ja rasvu peaks sportlane ööpäevas tarbima. Peale nende energieetilist ja plastilist tähtsust omavate toitainete vajab organism veel vitamiine ja mineraalaineid ning vett. Organismi vitamiinivajadus on sportlastel seoses ainevahetusprotsesside intensiivsuse tõusuga suurenenud, see suurenemine sõltub spordiala iseloomust ning kasutatud koormuste mahust ja intensiivsusest. Eesti toitlustustingimuste korral ei rahuldata organismi vitamiinivajadust toiduga, eriti vesilahustuvate vitamiinide osas kevadtalvisel perioodil. Kuid vitamiinide põhjendatud lisamine toidule eeldab nii kehaliste koormuste mõju tundmist ainevahetusele kui ka vitamiinide osa tundmist ainevahetuse regulatsioonis.

FÜSIOLOOGIA

Ainevahetus

Ainevahetuseks (ka metabolismiks) nimetatakse keemiliste ja füüsikaliste muutuste kogumit organismis, mis kindlustab elutalitluse ja vahekorra ümbritseva keskkonnaga. Kõigi elutalitlusprotsesside aluseks on rakustruktuurides toimuvad biokeemilised protsessid, mis moodustavad ühe osa ainevahetusest. Tähtsaks ülesandeks ainevahetusel on kõigi elutalitlusprotsesside energeetiline ja plastiline teenindamine. Energeetiline teenindamine seisneb energiariikaste ainete järkjärgulises lõhustamises kuni rakkude poolt kasutatavate ühendite moodustumiseni, nende kättesaadavaks tegemises rakkudele-tarbijatele protsessides, mille vahendusel energiariikastes ainetes leiduv keemiline energia muundub teisteks energiavormideks (mehaaniliseks, elektri-, osmootseks või soojusenergiaks), ning rakkudes leiduvate energiariikaste ainete taasmoodustumises (resünteesis). Plastiline teenindamine haarab endasse rakustruktuuride uuendamise ja seega struktuurivalgude ning ensüümivalgude täiendava sünteesi, kindlustamaks rakustruktuuride töökindluse.

Ainevahetusprotsesside hulka kuulub ka eluks vajalike ainete hankimine väliskeskkonnast, nende muutmine organismi poolt omastatavateks, organismisisene transport ja ladestamine varudena. Samuti moodustab ainevahetuse osa organismis tekkinud laguproduktide neutraliseerimine, uuesti kasutamine või väljutamine organismist. Seega koosneb ainevahetus assimilatsiooniprotsessidest (vajalike ainete hankimine väliskeskkonnast, nende muutmine kudedele ja rakkudele vastuvõetavateks ühenditeks, rakustruktuuride, ensüümide ja regulaatorainete süntees, vananenud struktuuriühikute asendamine uutega, varude loomine) ja dissimilatsiooniprotsessidest (organismi varude mobiliseerimine, vananenud koe- ja rakuelementide lammutamine, energiariikaste ühendite lõhustamine energia vabanemiseks ja laguproduktide eemaldamine organismist).

Ainevahetuses moodustuvad biokeemilised protsessid realiseeruvad ensüümide katalüüsiva mõju all. Seega saab ainevahetus toostuda üksnes tingimustes, milles ensüümide katalüüsiv mõju on optimaalne. Vastavaid

tingimusi (temperatuur, pH, osmootne rõhk, ioonne koostis jm.) nimetatakse homöostaatilisteks konstantideks. Organismi elutalitlus ja muutuv väliskeskkond võib põhjustada nihkeid nendes konstantides. Nihete piiramiseks ja homöostaatiliste konstantide põhiniivoo taastamiseks toimuvad organismis spetsiifilised adaptatsiooniprotsessid, s.o. homöostaatiline regulatsioon.

Ainevahetuse kooskõlastamine elutalitluse vajaduste ja keskkonna tingimustega toimub ensüümide aktiivsust muutes. Eristatakse kolm ainevahetuse regulatsiooni tasandit: 1) rakuline autoregulatsioon (seisneb biokeemilise protsessi lähteaine e. substraadi ja produkti vastassuunalises mõjus protsessi katalüüsiva ensüümi aktiivsusele), 2) hormonaalregulatsioon (realiseerub sisesekretsiooninäärmetes produtseeritavate hormoonide mõju kaudu ensüümivalkude sünteesile ning muutustele ensüümmolekuli struktuuris suurendamaks või vähendamaks katalüütilist aktiivsust), 3) närviregulatsioon (realiseerub kesknärvisüsteemi mõju kaudu hormooniproduktioonile sisesekretsiooninäärmetes).

Valguainevahetus. Valkudel on organismis mitmekesised ülesanded. Tähtsaim neist on, et ainevahetus saab toimuda üksnes valgustruktuurides ja ensüümivalkude katalüüsiva mõju korral. Seega on valgud elu kandjaks. Valkude plastiline funktsioon seisneb selles, et enamik rakustruktuure on moodustatud valkudest.

Organismis leiduvad valgud uuenevad pidevalt. Lähtematerjaliks valkude sünteesimisel on aminohapped. Organism saab neid toiduga ning valkude lagunemisel. Osa aminohappeid (asendatavad) on organismis sünteesitavad. Teise osa moodustavad asendamatud aminohapped, mis peavad tingimata leiduma toidus.

Valgud lagunevad aminohapeteks. Aminohapete lagundamisel eemaldatakse lämmastikku sisaldav aminorühm, millest kujunevad valguainevahetuse lõpp-produktid (uurea, kusihape, ammoniaak, kreatiniin). Viimased moodustavad veres plasma jääklämmastiku (25 - 35 mg%). Valgu lõpp-produktid eemaldatakse organismist uriiniga. Valgu laguproduktide hulka uriinis iseloomustatakse lämmastiku leidumise põhjal. Normaalset eritab inimene ööpäevas 10 - 18 g lämmastikku. Erinevus toidus leiduva lämmastiku (kajastab valguliste ainete koguhulka) ja uriiniga väljutatud lämmastiku vahel on lämmastikubilanss. Kui valkude süntees ületab nende lagunemise organismis, on lämmastikubilanss positiivne (toiduga võetakse lämmastikuühendeid rohkem vastu, kui uriiniga eritatakse valguainevahetuse lõpp-produkte). Kui organismis on ülekaalus valkude lagunemine, on lämmastikubilanss negatiivne (valguainevahetuse lõpp-produktide kogus uriinis ületab valguühendite vastuvõtu võiduga).

Aminohapete lämmastikuvaba jääk on kasutatav süsivesikute moodustamiseks maksas ja substraadina oksüdatsiooniprotsessides.

Süsivesikuainevahetus. Süsivesikud on tähtsaimaks energiaallikaks organismis. Toidus leiduvad süsivesikud lagunevad seedetraktis glükoosiks, mis imendub verre. Veres on normaalselt glükoosi 80 - 100 mg%. Normaalsest kõrgemat glükoositaset veres tähistatakse mõistega hüperglükeemia, madalamat - mõistega hüpo-glükeemia. Organism ladestab süsivesikuid glükogeenina. Tähtsaimad glükogeenivarud on maksas ja skeetiliha- lihastes. Süsivesikuvarude koguhulk organismis 70 kg kaaluval inimesel on 400 - 700 g. Süsivesikute liial moodustatakse glükoosist rasva, glükoos tuleb uriini (glükosuuria). Maks on võimeline laktaadist, püruvaa- dist, glütseriinist, rasvhapetest ja aminohappe läm- mastikuvabast jäagist produtseerima glükoosi (glükogeeni) (vt. lk. 7).

Põhiline osa süsivesikutest laguneb oksüdatsiooniprotsessis, mille lõpp-tulemuseks on vesi ja süsi- happegaas.

Rasva- (lipiidide) ainevahetus. Rasva on organismis 10 - 30 % keha massist. Enamus rasvast paikneb naha- aluse ja organitevahelise rasvkoena ning moodustab varurasva (rasvadepoo). Varurasv on organismi energia- reservuaariks. Lipolüüsi tulemusel vabanevad rasvhap- ped ja glütseriin, mis on oksüdeeritavad lihastes (põ- hiliselt rasvhapped) või kasutatavad glükoosi süntee- siks maksas (põhiliselt glütseriin). Varurasva süntee- sitakse toiduga vastu võetud lipiididest või vereglü- koosist. Lisaks varurasvale leidub organismis struk- tuurrasva: rasvamolekulid moodustavad põhiosa raku- membraanidest. Struktuurrasva ei kasutata energiava- jaduste katmiseks.

Süsivesiku-, rasva- ja valguainevahetus lihastööl. Lihas- töö algul, sageli juba stardieelses seisundis mobili- seeritakse süsivesikuvarud, kindlustamaks töötava- te lihaste küllaldase energiavarustuse. Glükogeen la- guneb. Lihastes tagab see anaeroobse glükogenolüüsi käivitumise. Maksa glükogeeni lagunemise tulemusel va- baneb glükoos ja tuleb verre, põhjustades lihastöö al- gul vere glükoositaseme mõningase kõrgenemise (mõ- go- geenne hüperglükeemia). Lihastöö jätkudes vere glü- koositase normaliseerub seoses glükoosi tarbimisega kudede poolt. Kui lihas eelistab energiavarude katmi- sel oma glükogeeni vere glükoosile, siis ajurakkudele on vereglükoos ainus toit. Teatava osa vereglükoosist tarbib müokard..

Lihastöö ajal intensiivistub glükoneogeneesis mak- sas. Pikaajalisel lihastööl ei piisa sellest katmaks

süsivesinike kulu ning tekib hüpoglükeemia, mis on subjektiivselt tunnetatav terava nälja- ja väsimustundena ning unisusena. Vere glükoositaseme langusel 40 mg/l ni on ajurakkude energiavarustus niivõrd häiritud, et tekitab teadvuse kaotus - hüpoglükeemiline šokk.

Lihastõõga kaasneb ka rasvavarude mobiliseerimine. 20 - 30minutilise töö järel suureneb vabade rasvhapete kontsentratsioon veres. Töö algul, samuti anaeroobsel energial põhinevate pingutuste korral väldib seda laktaadi taseme tõus. Kestustööil kaasneb vabade rasvhapete hulga tõusuga veres nende ulatuslik oksüdeerimine lihastes. Kasutusele võetakse ka lihastes leiduvad triglütseriidid. Rasvade kasutamine oksüdatsioonisubstraadina võib katta 60 - 80 % kogu energiakulust.

Ulatuslikud muutused toimuvad valguainevahetuses. Põhiliselt seisneb see vabade aminohapete fondi loomises. Selleks toimub intensiivne valkude lagunemine. Vabad aminohapped on oluliseks ehitusmaterjaliks uute valgumolekulide sünteesimisel. Enamiku valkude süntees on aga lihastöö ajal pärsitud. Aminohappe varusid kasutatakse täiendava energiaallikana. Valgud katavad tööpuhustest energeetilistest kulutustest 7 - 12 %. Osa aminohappeid oksüdeeritakse lihastes. Nende lagunemisel vabanevat aminorühma kasutatakse koos glükogenolüüsil tekkiva püroviinamarihappega aminohappealaniini sünteesiks. Alaniin transporditakse verega maksa, kus teda kasutatakse glükoneogeneesis, mille tulemusel väljuvad maksast verre täiendavad glükosiidhulgad. Seega kujuneb glükosiid-alaniini tsükkel, mida moodustavate proteiinide intensiivsus kasvab lihastööil. Aminohapete intensiivse lagunemise tulemusel moodustuvad lihastöö ajal suured hulgad ureat ja kusihapet, vabaneb kreatiin. Urea kontsentratsioon veres on kasutatav hindamaks pingutuse suurust ning tööjärgse taastumise kulgu.

Taastumisperioodil normaliseeritakse esmalt glükosiitide veres. Seejärel taastatakse glükogeenivarud: kõige enne müokardis, siis skeletilihastes ja lõpuks maksas. Ilmneb glükogeenivarude suurendamine lähtetase-
mest kõrgemal (superkompensatsioon). Esimestel taastumistundidel on valgu süntees lihastes pärsitud, seejärel kord-korralt intensiivistub. Toimub valgustruktuuride molekuläärse koostise intensiivne uuendamine ning pingutustel põhikoormust kannnud struktuuride mõningane suurendamine.

Vee ja mineraalainete vahetus. Vesi moodustab 2/3 organismi massist. Vesi jaguneb rakusisese (rakkudes olev vedelik, hõlmab 70 % vee koguhulgast) ja rakuvälise ruumi vahel (vt. lk. 11). Rakuvälise ruumi moodustab vere-
seontes leiduv (25 % rakuvälise ruumi kogumahust) ja rakkudevaheline vedelik. Organism peab õppäevas saama

2,4 - 2,8 l vett (1,3 - 0,4 l moodustub organismis oksüdatsiooniprotsessides). Organism eritab ööpäevas 1,6 l vett uriinina, 0,4 - 0,6 l higiga, 0,3 - 0,4 l veeauruna väljahingatavas õhus ning 0,1 - 0,2 l väljaheidetega.

Lihastöö ajal põhjustab intensiivne higistamine ulatusliku veekaotuse (2 - 5 l). Kui veekaotus (dehüdratatsioon) on üle 2 % kehakaalust, siis põhjustab see häireid organismi talitluses. Töövõime langeb. Seejärel on pikaajalise lihastegevuse korral oluline veekaotuse kompenseerimine joogiga.

Organismis leidub mitmesuguseid mineraalaineid, millel on tähtis funktsioon ainevahetuses ja kudede ülesehituses. Kuna kõiki neid väljutatakse pidevalt organismist, siis peab organism saama asemele samaväärsed hulgad toidu ja joogi kaudu. Lihastöö ajal väljutatakse higiga täiendavad hulgad mineraalaineid. Eriti rohkelt kaotatakse naatriumisooli. Seejärel on oluline, et joogid, mida kasutatakse veekaotuse kompenseerimiseks, sisaldaksid mineraalaineid, eelkõige optimaalse hulga naatriumisooli. Lihastöö ajal vabaneb valkude ja glükogeeni lagunemise tõttu kaaliumioone. Intensiivne kaaliumi väljutamine organismist töö ajal uriini ja higiga aitab ära hoida kaaliumitaseme tõusu vereplasmas ja rakkudevahelises vedelikus. Üksnes väga pikaajalise pingutuse korral vaesustub organism niiviisi kaaliumi poolest. Sel juhul on otstarbekas tarbida kaaliumirikaid puuviljamahlu või süüa puuvilju (apelsine, mandariine, rosinaid).

Energiavahetus

Põhiliseks doonoriks, milles ladestunud keemiline energia muundub teisteks energiavormideks, on adenosiintrifosforhape (ATP). Vastavalt ATP kulutusele peab toimuma tema resünteesis teiste energiarikaste ühendite lagunemise arvel. Lõpptulemusena kaetakse energiakulu ATP resünteesis oksüdatsiooniprotsessis vabaneva energia arvel. Seetõttu on organismi või selle osade tarbitud hapnik (hapnikuvajadus) kasutatav energiakulu arvutamiseks. Seda teed nimetatakse kaudseks kalorimeetriaks. Energiakulu selgitamise teiseks teeks on otsene kalorimeetria. See põhineb organismi produtseeritud soojushulga registreerimisel, pidades silmas, et energia muundumise lõpptulemuseks on soojuse vabanemine.

Kaudne kalorimeetria eeldab organismi tarbitud hapniku ja eritatud süsihappegaasi koguste määramist.

Selleks tuleb registreerida kopsuventilatsioon ja väljahingatava õhu koostis. Erinevus sisse- ja väljahingatava õhu hapnikusalduses on hapniku utilitatsiooni koefitsient. Selle korrutamisel kopsude ventilatsiooniga saame hapniku tarbimise. Energiakulu arvutamiseks tuleb hapniku tarbimise väärtus korrutada hapniku kalorilise ekvivalendiga. See on energia hulk, mis vabaneb 1 l hapniku kasutamisel. Koefitsient on erisugune süsivesikute, valkude ja rasvade oksüdeerimisel. Vahekorra süsivesikute ja rasvade oksüdeerimisel näitab respiratoorne koefitsient (eritatud süsihappegaasi hulga suhe tarbitud hapnikku). Hapniku kalorilise koefitsiendi suurus saadakse tabelitest, võttes aluseks respiratoorse koefitsiendi. Kuigi 1 g rasvade täielikul oksüdeerimisel vabaneb üle kahe korra niipalju energiat kui 1 g süsivesikute oksüdeerimisel, on hapnikukulu siiski kõige väiksem süsivesikute oksüdeerimisel ja seega hapniku kaloriline ekvivalent kõige suurem süsivesikute kasutamisel. Seega tingimustes, kus organismi küllaldane varustamine hapnikuga pole probleemiks (mõõduka intensiivsusega lihastöö, taastumisperiood), on soodne oksüdeerida rasvu, sest nende suur hulk organismis tagab pikaajalise energeetilise teenindamise. Intensiivse lihastöö puhul ligineb hapniku tarbimine piirtasemele. Seepärast on oluline hapniku kõige efektiivsem kasutamine. Neis tingimustes on optimaalseks teeks süsivesikute oksüdeerimine.

Anaeroobne ainevahetus saab toimuda üksnes süsivesikuid kasutades. Sel juhul toimub glükogeeni või glükoosi lagunemine kuni püroviinamarihappe moodustumiseni. Kui anaeroobse glükogenolüüsi intensiivsus on suur, siis moodustub püroviinamarihapet rohkem, kui suudetakse oksüdeerida ning suur osa püroviinamarihapest muudetakse piimhappeks, mille neutraliseerimisel tekib laktaat. Sel juhul jääb laktaadi oksüdeerimine taastumisperioodile. Taastumisperioodil tuleb oksüdatsioonil vabaneva energia arvel resünteesida ka kreatiinfosforhape, mis töö ajal lagunes, luues kiire võimaluse ATP resünteesiks. Hapnikku, mida taastumisperioodil täiendavalt tarbitakse, nimetatakse hapnikuvõlaks. Tööaegse hapnikuvajaduse kindlakstegemiseks tuleb seega liita tööaegsele hapniku tarbimisele hapnikuvõlg.

Organismi energiakulu jaguneb põhiainevahetuseks ehk ainevahetuse põhikäibeks ja lisaainevahetuseks ehk ainevahetuse lisakäibeks. Põhikäive näitab energiakulu rakkude elutalitluse põhinivoo säilitamiseks, pidevalt töötavate organite energeetiliseks kindlustamiseks ja minimaalse lihastoonuse tagamiseks. Ligikaudselt on see 1 kcal tunnis iga kilogrammi kehamassi kohta. Igasugune elutalitlusakt toob endaga kaasa lisakäibe. Eriti

ulatusliku lisakäibe annab lihastegevus. Põhikäibe ja lisakäibe kokku moodustavad ööpäevase energiakulu. Väheliikuval, kehalist tööd mittetegeval inimesel on see 2800 - 3200 kcal. Sportlasel ulatub ööpäevane energiakulu 4500 - 5500 kcal-ni.

Kasutatud energiasst vaid üks osa läheb vahetult liigutusakti sooritamiseks. Mehhaanilise (kasuliku) energia suhe kogu energiakulusse (väljendatakse protsentides) on töö mehhaaniline kasutegur ehk töö energeetiline efektiivsus. Enamiku kehaliste harjutuste puhul on see piirides 15 - 30 %. Ujumisel on mehhaaniline kasutegur vaid 3,0 - 3,5 %.

Liigutusaparaat

Liigutusaparaadiks nimetatakse organite ja kudede süsteemi, mis moodustavad täidesaatva osa liigutusfunktsiooni teostavates refleksides. Inimesel ja selgroolistel loomadel koosneb liigutusaparaat: 1) motoorsetest närvirakkudest e. motoneuronitest, mille pikad jätked (aksonid) ulatuvad lihasteni, 2) skeleti vöötlihastest, 3) skeleti luudest koos liigeste ja sidemetega.

Üks motoneuron innerveerib alati paljusid lihaskiude. Motoneuronit koos tema poolt innerveeritavate lihaskiududega nimetatakse motoorseks ühikuks. Täpseid liigutusi sooritavatel lihastel (silmalihas) on närvikiudude ja lihaskiudude suhe 1/8 või 1/10, käsivarrelihasel 1/600, suurematel kehaasendit hoidvatel lihastel võib see suhe olla kuni 1/1600.

Motoorse närviraku keha paikneb seljaajus või piklikajus. Tema pikk jätke - akson e. motoorne närvikiud - kulgeb ühe või teise seganärvi koostises lihasteni ja hargneb seal. Närvikiud suubub lihaskiusse närvilihas-sünapsi kaudu, kus toimub impulsside ülekanne närvilt lihaskiule.

Vöötlihas koosneb lihasrakkudest e. lihaskiududest, millel on tuumad, mitokondrid jt. rakuorganellid. Rakuplasma, mida nimetatakse sarkoplasmaks, sisaldab müofibrille, need omakorda koosnevad müofilamentidest e. protofibrillidest, mis moodustuvad kokkutõmbevalkude - müosiini ja aktiini - molekulidest. Lihase lühenemisel nihkuvad aktiiniifilamendid müosiiniifilamentide vahele, aktiin ja müosiin haakuvad müosiini moodustatud rist-sillakeste kohal, mis kannavad ensüümi (adenosintri-fosfataasi), viimane kutsub esile ATP muutumise ADPks ning müofilamentide nihkumiseks (kontraktsiooniks) vajaliku energia vabanemise.

Lihaskontraktsiooni vallandavaks faktoriks on mo-
toorse närvi kaudu leviva närviimpulsi (aktsioonipo-
tentsiaali) jõudmine lihasseni.

Närvi ja lihase erutust on võimalik esile kutsuda mehhaaniliste, keemiliste, termiliste, elektriliste ja teiste mõjutuste abil. Vastusena ükskõik millisele ärritusele tekib närviimpulss, mis paneb lihase kontra-
heeruma. Rakkudel, mis on kohanenud keskkonnamõjutuste vastuvõtmisele (retseptorid), teistele süsteemidele signaalide edasiandmisele (närvirakk koos oma jätkete-
ga) ja mõjutusele vastamisele (lihasrakk), on erutuvus suurem kui teistel rakkudel. Erutuvus muutub eri olu-
kordades, näiteks väsimisel langeb.

Närvi ja lihaste erutuvust määratakse elektriarri-
tuse abil. Alalisvool kutsub koos esile erutusprotses-
si sisse-, väljalülitamisel või tugevuse järsul muutu-
misel. Minimaalse tugevusega ärritus, mis on vajalik
erutuse esilekutsumiseks koos, on künnisärritus. See
iseloomustab antud koe erutusläve. Mida kõrgem on eru-
tuslävi e. mida suurem on künnisärritus, seda madalam
on koe erutuvus. Erutuse tekkimisel on otsustav täht-
sus ärrituse tugevusel, väga oluline on ka ärrituse
toimeaja, s.o. ärrituse kestuse tähtsus.

Reobaas on elektriarrituse vähim tugevus või väik-
seim alalisvoolu pinge, mis on vajalik, et piiramatu
toimeaja tingimustes koe reaktsiooni esile kutsuda.

Kronaksia on lühim aeg, mis on vajalik koe ärrita-
miseks kahekordse reobaasi tugevuse vooluga, et koe mi-
nimaalset reaktsiooni esile kutsuda.

Ärrituse mõjul elava koe füüsikalise-keemilised
omadused muutuvad, ioonid paigutuvad ümber raku sise-
muse ja rakkudevahelise vedeliku vahel. Kui need muu-
tused ulatuvad kindla suuruseni, tekib erutusseisund.
Koe osa, kus erutus tekkis, muutub teiste osade suhtes
elektronegatiivseks. Negatiivset elektripotentsiaali
erutuspaigal nimetatakse erutuspotentsiaaliks. Bioelekt-
riliste potentsiaalide registreerimiseks on vaja tund-
likku aparaati, sest mõõdetavad elektripotentsiaalid
on väga väikesed (mõõdetavad millivoltides, mV) ja vä-
ga lühiajalised (mõõdetavad millisekundites, mS).

Bioelektriliste nähtuste aluseks on membraanide
valikuline läbilaskvus eri ionide suhtes. Nii läbivad
kaaliumioonid membraane kergesti, naatriumioonidele on
aga jõudeseisundis membraan peaaegu läbimatu. Kuna kiu
sees on K^+ kontsentratsioon umbes 30 korda suurem kui
rakkudevahelises vedelikus, on potentsiaalide erinevus
membraani negatiivse laenguga sisepinna ja positiivse
laenguga välispinna vahel ligi 90 mV (60 - 150 mV). Po-
tentsiaalide erinevust membraani sise- ja välispinna
vahel nimetatakse membraanipotentsiaaliks. Erutusega
kaasneb membraani läbitavuse suurenemine ja membraani
sisepinna negatiivse laengu vähenemine e. kiu depolari-
satsioon, s.o. membraanipotentsiaali vähenemine. Tule-

museks on Na^+ -ioonide tungimine kiu sisemusse ja membraanipotentsiaali kahanemisel alla 50 mV omandab edasine depolarisatsioon peatamatu taastekkiiva iseloomu. Väga lühikese ajaga neutraliseerub negatiivne laeng kiu sees ja muutub koguni positiivseks (kuni +40 mV). Tulemusena lakkab Na^+ -ioonide vool kiu sisse, kaaliumioonid hakkavad suurtes hulkades kiust väljuma ja membraani sisepinna positiivne laeng hakkab vähenema. Na^+ -ioonid eemaldatakse kiust aktiivselt naatriumpumba abil. Membraanipotentsiaal saavutab jõudetaseme ning koos sellega saavutavad lähtenivoo ka membraani läbitavus ja kiu erutuvus.

Erutuslaine levikul kehtib isoleeritud juhitavuse seadus, s.t. erutuslained kulgevad seganärvi arvukaid kiude mööda üksteisest sõltumatult: iga närviimpulss jõuab kindlasti ettenähtud adressaadini. Organismis liigub erutus närvikiude mööda alati ainult ühes suunas: piki afferentseid kiude perifeeriast tsentri suunas ja piki eferentseid kiude tsentrist perifeeria suunas. Impulsi suuruse sõltumatust ärrituse tugevusest, selle konstantsuse säilitamist tema liikumisel mööda kiudu kajastab seadus: "Kõik või mitte midagi".

Erutuse tekkemomendist alates kaotab kiud mõneks ajaks võime vastata korduvale ärritusele uue erutusega. Seda faasi nimetatakse absoluutse refraktaarsuse faasis (imetajate motoorse närvikius $\sim 0,5$ ms). Järgneb suhtelise refraktaarsuse faas, mille jooksul koe erutuvus järk-järgult taastub (täielikult taastub 3 ms jooksul). Järgnevas supernormaalsetes faasis (kestab kuni 15 ms pärast erutuse tekke algust) tõuseb kiu erutuvus lähtetasemest kõrgemale, langedes subnormaalsetes faasis (kuni 50 ms) taas lähtetasemest pisut madalamale.

N. Vvedenski soovitas iseloomustada kudede funktsionaalset liikuvust e. labiilsust maksimaalse sagedusega, millega kude on võimeline vastama erutusega ärrituste rütmilise transformeerimata. Vastavalt sellele on imetaja motoorse närvi labiilsus ligi 2500 tsükli/s, sümpaatilise närvi labiilsus 500 tsükli/s.

Kaudselt võib labiilsust hinnata kronaksia suuruse abil. Mida väiksem on kronaksia, seda suurem on labiilsus. Kiirusharjutuste korduval sooritamisel täheldatakse sportlastel koos kiirusomaduste kasvuga kronaksia vähenemist. Väsimusel lihaste kronaksia kasvab, mis näitab nende labiilsuse langust.

Närvi-lihassünapsi labiilsus on tunduvalt väiksem kui närvikiu labiilsus. Esiteks on erutuse levik närvilihassünapsis 1000 korda aeglasem kui närvikius, vaid 0,1 μm laiuse sünapsipilu ületamiseks kulub erutuslaineril 1 ms. Teiseks, erutuse ülekanne närvilt lihasele toimub keemiliste protsesside vahendusel, vajalik on mediaatori (võõrlihaskiududes atsetüülkoliini) toime.

Imetajate skeletilihase närvi-lihassünapsi võib ühe sekundi vältel läbida kuni 500 impulssi.

Lihaskiudude ja lihase kui terviku funktsioon avaldub pinge arendamises ja lühenemises. Lihaskoes tekkev erutus avaldub muutustes, mis on analoogilised närvi-kius toimuvatega - need on elektrilised, keemilised ja termilised nähud. Spetsiifiliseks lihaskiule on mehhaaniline reaktsioon.

Lihaste mehhaaniline talitlus - pinge ja kontrakt-sioon - teostub potentsiaalse keemilise energia arvel, mis vabaneb energiariikaste orgaaniliste ainete lagunemisel. Kõiki energeetilisi kulutusi tasakaalustavaks lõpp-protsessiks lihases on oksüdatsiooniprotsess. Maksimaalse, submaksimaalse või suure intensiivsusega töö, mis on eriti iseloomulik mitmetele sportlikele pingutustele, vajaksid lihased rohkem hapnikku, kui suudab kindlustada südame-veresoonkonna ja hingamissüsteemi talitlus. Hapnikuvaeguses toimub ATP resünteesis anaeroobsetes tingimustes (glükolüüs), lihastes kuhjub piimhape ja tekib hapnikuvõlg. ATP resünteesi viis (aeroobne või anaeroobne) ei avalda mõju lihase mehhaanilise reaktsiooni vormidele.

Lihaskontraktsiooni teooriast tuleneb, et erutusel lihas lüheneb. Kui aga lühenemine on takistatud, tekib lihase elastses osas pinge. Loomulikes tingimustes organismis tekivad lihased mõlemad reaktsioonivormid korraga. Erinev on vaid tekkiva pinge ja lihase lühenemise omavaheline suhe. Lihase tegevuses eristatakse kolme töörežiimi.

Lihase isotoonilise töörežiimi korral saab lihas vabalt lüheneda, kusjuures pinge lihases ei muutu (keelelihas).

Lihase isomeetrilise töö korral lihas ei lühene, muutub vaid lihase pinge. Esineb staatilistel pingutustel.

Lihase auksotooniline töörežiim seob mõlemaid mehhaanilise reaktsiooni vorme - pinget ja lühenemist. Just nii talitlevad organismis skeetilihased kõige sagedamini. Auksotoonilises töörežiimis talitleb lihas nii ületavas kui ka järeleandvas liigutusfaasis. Organismi keerukas mootorikas funktsioneerivad eri lihased üheaegselt erisugustes töörežiimides. Näiteks sooritavad jalalihased jooksu puhul dünaamilist tööd auksotoonilises töörežiimis (käsivarre-, õla- ja paljud muud lihased samuti), pea asendit hoidvad lihased aga on kehtvas pinges ilma olulise lühenemiseta (isomeetriline töörežiim).

Üksikkontraktsiooni-puhune lihase mehhaaniline reaktsioon on laineline. Kui tööle lülitatakse suur hulk mootorseid ühikuid, mis üksteist küllalt suure sagedusega asendavad, muutub lihaskontraktsioon püsi-

vaks, sujuvaks ja suureks - areneb tetaaniline kontraktatsioon. Elektromüograafia võimaldab lihases genereeritavate erutuspotentsiaalide üleskirjutamist (EMG). Selgub, et kui järgmine ärritus satub eelmise kontraktatsioonifaasi lõppu, tekib täielik kontraktatsioonide kokkusulamine. Lihase maksimaalset kontraktatsiooni esilekutsuvat ärrituse sagedust ja tugevust nimetatakse optimaalseks. Kontraktatsiooni suuruse alanemist põhjustavad ülemäärast sagedust ja tugevust nimetatakse aga pessimaalseks (N. Vvedenski).

Lihase jõud sõltub 1) üksikute lihaskiudude kontraktatsioonijõust, 2) kiudude hulgast lihases, 3) lihase lähtepikkusest, 4) närvimõjutuste iseloomust, 5) lihaste mehhaanilisest mõjust luukangidele. Tavaline motoorne ühik, mis koosneb näiteks 100 kiust, suudab arendada jõudu 10 - 20 g. Inimese kõik lihased kokku sisaldavad 300 miljonit kiudu. Kui kõigi nende kiudude toime oleks rakendatud ühes suunas, avalduks 25tonnine jõud.

Lihase erijõud on lihase arendatud maksimaalne pinge, jagatud lihaskiudude füsioloogilise ristlõikepindalaga, väljendatuna kilogrammides 1 cm^2 kohta. Näiteks inimese kaela-sirutajalihase erijõud on 9 kg/cm^2 , õlavarre-kolmpealilisel aga $16,8 \text{ kg/cm}^2$.

Kontraktatsiooni amplituud on seda suurem, mida suurem on lihase aktiivne jõud ja väiksem väline vastupanu. Enamik lihaseid on inimesel segatüübilised, sisaldades nii kiiresti kui ka aeglaselt kontraheeruvaid kiude, kusjuures erisugused kiud on grupeerunud eri mootorsetesse ühikutesse. Närvikeskused saavad kontraktatsiooni kiirust varieerida, lülitades tegevusse kiireid või aeglasi mootorseid ühikuid. Mida suurem on lihase jõud ja mida väiksem on vastupanu kontraktatsioonile, seda suurem on kontraktatsiooni kiirus.

Lihase teeb kontraheerudes sisemist (sisehõõrdumise ületamine, tekkiv soojus jne.) ja välist tööd (nt. raskuse tõstmine). Kõige lihtsamal juhul saab lihase välist tööd (A) mehhaanika seaduste kohaselt mõõta raskuse (P) ja tõstekõrguse (h) korrutisega:

$$A = P \cdot h.$$

Üldine energiakulu selle töö tegemiseks on aga suurem soojusenergiانا eraldunud -II- võrra. Mõõtmised näitavad, et inimese mehhaaniline kasutegur (MKT) on 20 - 30 %. Seega läheb umbes 1/4 kõigist energeetilistest kulutustest välise mehhaanilise töö tegemiseks ja tervelt 3/4 kaotatakse peamiselt soojusena.

Inimese liigutusaparaat taidab kahte põhifunktsiooni - sooritab liigutusi ja säilitab kindlaid asendeid. Dünaamilisel tööil ületab luukangidele mõjuv lihasjõud väliseid jõude või aeglustab ja pehmendab nende deformeerivat toimet. Staatilisel tööil hoiavad liha-

sed skeletti ja selle osi üksteise suhtes kindlas asendis, pannes vastu välistele jõududele, mis seda muuta püüavad.

Dünaamilise ja staatilise funktsiooni vaheldumist, teetanuse ja toonuse esilekutsumist ning pidurdamist juhib liigutuspapaadi talitlust reguleeriv kesknärvisüsteem.

Kestvat lihaspinget, mis kindlustab keha loomuliku asendi säilitamise raskustungi väljas või dünaamiliseks tööks vajaliku kehaasendi, nimetatakse lihas-tonuseks. Inimesel puuduvad toonilised lihaskiud ja lihaste toonus tagatakse tetaanilise kontraktsiooniga, kusjuures väga tähtis on mootorsete ühikute vahelduv töö. Kuna kasutatakse põhiliselt aeglase kontraktsiooniga kiude sisaldavaid mootorseid ühikuid, neid pidevalt vahetades, hoitakse ära väsimuse teke.

Sisesekreatsioon

Sisesekreatsiooni üldiseloostus. Ainevahetuse hormonaalregulatsioon toimub ensüümide aktiivsuse muutmisega kõrge bioloogilise aktiivsusega ainete poolt, mida produtseeritakse sisesekreatsiooninäärmetes ja nimetatakse hormoonideks. Kui ainevahetuse autoregulatsiooniga rakkudes kindlustatakse protsesside tasakaalustatud kulg (substraadi vähenemisel ja produkti külluses reaktsioon peatub ja asendub vastupidisega), siis hormonaalregulatsiooni ülesandeks on juhtida ainevahetuse protsessi kindlas suunas, pidades siinjuures silmas eelkõige elutalitluse vajadusi. Organismi varude ulatuslik mobiliseerimine kehaliste pingutuste sooritamisel on võimalik üksnes hormonaalregulatsiooni osavõtul.

Hormonaalregulatsiooni tasakaalustatakse tagasisideprintsiiibil. Hormoonide taseme tõus põhjustab seda stimuleeriva mehhanismi pärssimise, hormoonitaseme langus aga selle stimuleerimise. Mõnikord toimib hormooni produktsiooni pärssivalt hormooni mõjul tekkinud muutus ainevahetuses. Eriti ulatuslike muutuste saavutamiseks ainevahetuses sekkub närviregulatsioon hormonaalregulatsiooni ning väldib või, vastupidi, intensiivistab hormoonide produktsiooni tagasisideprintsiiibil. Kesknärvisüsteemi mõjustused jõuavad sisesekreatsiooninäärmeteni kas närvimpulsside vahendusel (nii kutsutakse esile adrenaliini kiire verre paiskamine pingutuse algusest peale) või hüpotalamuse neuroendokriinsete rakkude poolt produtseeritavate liberiinide (stimuleerivad neurohormoonid) ja statiinide (pärssivad neurohormoonid) abil. Liberiinid ja statiinid mõjustavad troopsete hormoonide (tropiinide) produktsiooni hüpofüüsi cessaqara poolt. Tropiinid omakorda juhivad perifeersema paigutusega sisesekreatsiooninäärmete talit-

lust või avaldavad vahetut mõju ainevahetusele.

Seega moodustab ainevahetuse hormonaal- ja närvi-regulatsioon tervikliku neurohumoraalregulatsiooni, milles täiendav osa kuulub veel ainevahetusproduktide (metaboliitide) ning kudedes tekkivate mitmesuguste bioaktiivsete ainete reguleerivale mõjule. Neurohumoraalregulatsioonis eristatakse mitmeid endokriinsüsteeme. Tähtsamad:

- sümpatoadrenaalsüsteem (kindlustab organismide funktsioonide ja ressursside mobiliseerimise),

- hüpofüsaar-adrenokortikaalsüsteem (sellel on suur adaptiivne tähtsus, kindlustab valguainevahetuse mobiliseerimise vastavalt pingutussituatsioonide vajadustele),

- vagoinsulaarsüsteem (reguleerib süsivesikute ja rasvade kasutamist ning stimuleerib nende varude loomist),

- hüpofüsaar-türeoidsüsteem (reguleerib kilpnäärme hormoonide abil oksüdatsiooniprotsesside intensiivsust ning organismi arengut),

- hüpofüsaar-gonadaalsüsteem (reguleerib sugunäärmete funktsioone),

- somatotropiin-somatomediinsüsteem (reguleerib organismi kasvu ning toitainete omastamist rakkude poolt).

Hormoonide tähtsus organismi funktsioonide ja ressursside mobilisatsioonis. Tähtsaim osa organismi võimete ja võimaluste mobilisatsioonis kuulub sümpatoadrenaalsüsteemile, mis koosneb sümpaatilistest närvidest ja nende vahendusel innerveeritavast neerupealiste säisist. Keemilisteks vahendajateks, mille kaudu sümpatoadrenaalsüsteemi mõjustused jõuavad organiteni ja ainevahetusprotsessideni, on sümpaatilistes närvilõpmetes tekkiv noradrenaliin ja neerupealiste säisis produtseeritav adrenaliin (ka noradrenaliin).

Sümpatoadrenaalsüsteemi aktiivsuse tulemusel intensiivistub südame-veresoontesüsteemi talitlus, ringleva vere põhimass suunatakse töötavatesse lihastesse, hingamisteedes tekivad õhuvoolu soodustavad muutused, pärsitakse seedetalitlust. Seega kindlustatakse töötavate lihaste hea hapnikuvarustus, võimaldamaks intensiivset energiavarustust oksüdatsiooniprotsesside arvel. Oksüdatsioon vajab substraati. Nii süsivesikute kui ka rasvade mobiliseerimisel on keskne koht adrenaliinil: maksa- ja lihaseglükokeeni lagunemine saavutab suure intensiivsuse ja ulatuse, rasvkoest vabanevad rasvhapped ja glütseriin.

Kehalise pingutuse algus, samuti stardieelne seisund seostub ulatusliku tõusuga sümpatoadrenaalsüsteemi aktiivsuses. Pingutuse algul, juba mõnekümne sekundi järel on veres adrenaliini ja noradrenaliini kont-

sentratsioon suurenenud, kui pingutuse intensiivsus on küllaldaselt suur. Adrenaliini ja noradrenaliini kontsentratsiooni tõus veres on otseses sõltuvuses pingutuse intensiivsusest.

Pikaajalise töö teostamisel hakkab alates esimese töötunni lõpust veres suurenema glükagooni kontsentratsioon. Seda hormooni produtseerib kõhunäär. Glükagoon nagu adrenaliingi intensiivistab maksaglükogeeni lagunemist ja rasvhapete vabanemist rasvkoest.

Vereglükoos on lihaste poolt kasutatav üksnes kõhunäärme teise hormooni - insuliini - mõjul. Kehalise pingutuse sooritamisel, 10 - 20 minutit pärast töö algust insuliini kontsentratsioon veres väheneb. Sellega reserveeritakse vereglükoos närvirakkude tarbeks, sest glükooi tarbimine lihaste poolt halveneb.

Insuliin pidurdab rasvhapete vabanemist rasvkoes. Seega on insuliini kontsentratsiooni langusel veres veel teine regulatiivne tähtsus: rasvkude vabaneb pidurist ning adrenaliin ja glükagoon saavad põhjustada rasvhapete ja glütseriini ulatusliku vabanemise. Kolmas tähtis hormoon, mis toimib rasvkoesse samuti, on hüpofüüsi erituv somatotropiin, mille kontsentratsioon veres tõuseb ulatuslikult kehalisel tööil.

Vabade aminohapete fondi loomisel on tähtis funktsioon neeruapelite koore produtseeritavatel glükokortikoididel. Inimesel on kortisool tähtsaim glükokortikoid. Kortisool intensiivistab glükooi-alaniini tsükli ja stimuleerib glükoneogeneesi, soodustab normaalse ioonse koostise säilitamist rakkudes. Tähtsaks glükokortikoidide ülesandeks on nende permissiivne toime: sümptoadrenaalsüsteem saab efektiivselt täita oma ülesandeid glükokortikoidide küllaldasel juuresolekul. Glükokortikoidide produktsiooni stimuleerib hüpofüüsi erituv kortikotropiin. Seega moodustub ühtne hüpofüsaar adrenokortikaalsüsteem, mille talitlust intensiivistab hüpotalamuse neurosekretoorsetest rakkudest tulenev kortikoliberiin. Kohe, alates intensiivse kehalise pingutuse esimesest minutist, hakkab veres suurenema kortikotropiini ja kortisooli kontsentratsioon, millega luuakse soodne foon sümptoadrenaalsüsteemi mõjude realiseerimiseks ja teiste, glükokortikoididele omaste regulatoorsete efektide teostamiseks.

Oksüdatsiooniprotsesside intensiivsus sõltub kilpnäärme hormoonidest türoksiinist ja trijoodtüroniinist. Nende produktsiooni intensiivistab hüpofüüsi hormoon türotropiin, mille eritust omakorda stimuleerib türoliberiin. Kehalisel pingutusel kilpnäärme talitlus mõneti aktiveerub, treenitud organismis rohkem kui treenimatus.

Hormoonide tähtsus homöostaatilises regulatsioonis

Osmootse rõhu, organismi veesisalduse, paljude ioonide kontsentratsiooni ja omavahelise vahekorra püsitaseme kindlustamisel on tähtis koht mitmel hormoonil. Hüpotalamuse neurosekretoorsed rakud produtseerivad vasopressiini. Hormoon koguneb hüpofüüsi tagasagarasse, kust sekreteeritakse ringlevasse verre. Vasopressiin suurendab vee tagasiimendumist verre neerukanalikestest, mistõttu uriini produktsioon väheneb. Sellel on tähtis osa organismi veevarude säilitamisel vedelikukaotuse puhul. Vasopressiini sekretsioon intensiivistub pikaajalisel tööl. Selle abil kahandatakse intensiivsest higistamisest tingitud dehüdratsiooni. Intensiivsest higistamisest põhjustatud naatriumisoolade kaotuse toimet vähendab neerupealiste koore produtseeritav aldosteroon (mineralokortikoid). Selle mõjul intensiivistub naatriumioonide tagasiimendumine neerukanalikestes. Samal ajal soodustab aldosteroon kaaliumi väljutamist organismist uriiniga. Aldosterooni hulk veres suureneb kestustööl.

Paljudes ainevahetusprotsessides on tähtsal kohal kaltsium. Selle ioonide hulka organismi vedelikes reguleerivad kaks vastupidi toimivat hormooni. Need on kõrvalkilpnäärdest (paratüreoidnäärdest) erituv parathormoon - suurendab kaltsiumi hulka vereplasmas - ja kilpnäärme poolt sekreteeritav kaltsitoksiin - vähendab kaltsiumi hulka vereplasmas. Kehaliste pingutuste alguses suureneb parathormooni produktsioon; kestustööl, tavaliselt alates teisest tunnist suureneb kaltsitoksiini kontsentratsioon veres.

Vere glükoositaset reguleeritakse põhiliselt insuliini ja adrenaliini vastupidise mõjuga. Insuliin langetab, adrenaliin tõstab glükoositaset veres. Vere glükoositaseme tõusul intensiivistub insuliini, langusel aga adrenaliini sekretsioon. Sel viisil kindlustatakse normaaltaseme taastumine ja säilitamine. Glükoosi tarbimine sportlike pingutuste sooritamisel energiavarude kulu kompenseerimiseks põhjustab insuliinitaseme tõusu veres ning adrenaliini kontsentratsiooni vähenemist. Tulemuseks on tagasilülitumine rasvade kasutamisel süsivesikute kasutamisele ning organismi varude mobiliseerimise vähenemine. Seepärast ei tohi glükoosi sissevõtmisega liialdada.

Adaptatsiooniteooriad. Hormoonide osa taastumisel ja kestusadaptatsiooni saavutamisel. Ameerika teadlase W. Cannoni hädahuteooria kohaselt mobiliseerib organism ohtlikku situatsiooni sattudes sümpatoadrenaalsüsteemi vahendusel oma ressursid ja funktsioonid võitluseks olemasolu eest. Hormoon adrenaliin täidab organismis alarmi funktsiooni.

Kõik need muutused väljaspool organismi ja organismis, mis ohustavad sisekeskkonna püsitaset, aktiveerivad adaptatsiooniprotsesse. Esmane tähtsus on spetsiifilisel homöostaatilisel regulatsioonil, mille kaudu aktiveeritakse protsesse, mis on konkreetselt suunatud mingile kindlale sisekeskkonna parameetrile, vältimaks selle nihet, kompenseerimaks nihet esile kutsuvate tegurite mõju vastupidise muutusega ning nihke tekkimisel kiiresti taastamaks põhitaset. Spetsiifilisele homöostaatilisele regulatsioonile lisanduvad mittespetsiifilised adaptiivsed muutused. Nende kujunemise dünaamikat kajastab Kanada õpetlase H. Selye teooria kohaselt üldise adaptatsiooni sündroom. Mittespetsiifilised adaptiivsed muutused väljendavad organismi kaitsejõudude ja ressursside mobiliseerimist kindlustamaks resistentsuse saavutamist organismi ohustava mõju suhtes ning tagamaks elutalitlusülesannete efektiivset täitmist. Organismi seisundit, mida iseloomustab mittespetsiifiliste adaptiivsete muutuste ulatuslik aktiveerumine, nimetatakse H. Selye ettepanekul stressiks.

Mittespetsiifilised adaptiivsed muutused kajastavad üldise adaptatsioonimehhanismi aktiveerumist, mille komponentideks on 1) organismi energiavarude mobiliseerimine ning homöostaatiliste reaktsioonide ja muude elutalitlusaktide energiavarustus (põhifunktsioon selles on sümpatoadrenaalsüsteemil); 2) organismi plastiliste varude mobiliseerimine ning homöostaatilisi reaktsioone ja teisi situatsioonis olulisi elutalitlusakte teostavate rakusstruktuuride plastiline teenindamine (põhiosa selles on hüpofüsaar-adrenokortikaalsüsteemil); 3) organismi üldiste kaitsejõudude aktiveerimine (immunoloogilised reaktsioonid jms.).

*Pingutusolukorras teostuvad adaptiivsed muutused (nii spetsiifilised kui ka mittespetsiifilised) moodustavad kiiradaptatsiooni. See toimub organismis varem välja kujunenud võimalusi kasutades. Kiiradaptatsioon, aktiveerides üldise adaptatsiooni mehhanismi, loob tingimuse kestusadaptatsiooni kujunemiseks. Selle aluseks on struktuursed muutused (suurenenud tootmispiind kiiradaptatsioonis aktiivsete funktsioonide teostamiseks), mis omakorda põhineb adaptiivsel valgu sünteesil. Treenituse teke on kestusadaptatsiooni tüüpnaide.

Taastumisperioodil saavutatakse süsivesikute varude (glükogeenireservi) taastamine ja ületaastamine insuliini ja glükokortikoidide koosmõju tulemusel. Taastumisperioodil intensiivistub adaptiivne valgu süntees. Intensiivselt sünteesitavate valkude kogumi määravad metaboliidid, mis kuhjuvad treeninguharjutuste soorita-

misel. Metaboliitide toimet võimendavad hormoonid. Androgeensed hormoonid (meestel testosteroon, naistel ja meestel neerupealiste koorest pärit androgeenid) intensiivistavad müofibrillvalkude (kontraktsioonimehhanismis osalevate valkude) sünteesi, türoksiin ja trijoodtüroksiin intensiivistavad mitokondrivalkude sünteesi. Valgu sünteesi realiseerimisel on tähtsal kohal somatotropiin ja insuliin. Glükokortikoidid mobiliseerivad aminohappe varud valgu sünteesile ehitusmaterjali tagamiseks.

Meeleolu ja enesetunde muutustes on tähtis koht endorfiinidel, mis tekivad paljudes närvistruktuurides, hüpofüüsis ja neerupealistes. Endorfiinide mõjul väheneb valuaisting ning paraneb enesetunne, kõrgeneb meeleolu, negatiivsed aistingud jäävad tähele panemata. Intensiivsete kehaliste pingutuste sooritamisel suureneb endorfiinide produktsioon, mis kajastub kõrgenenud meeleolu tekkes, liikumisrõõmus.

Sugufunktsioonid ja organismi arenemine. Suguorganite arenemine ning sekundaarsete sugutunnuste kujunemine sõltub poeglastel ja neerupealistes tekkinud testosteroonist, tütarlastel munasarjades produtseeritavates folliikulites moodustuvatest östrogeenidest. Mõlema hormooni produktsiooni intensiivistab hüpofüüsi gonadotropiin. Testosteroon ja östrogeenid määravad sugulise aktiivsuse ning soolise eripära selles. Testosteroonil on lisaks sugufunktsioonile tähtis osa lihasvalkude sünteesi stimuleerimisel.

Munasarjades moodustuv folliikul saavutab 10 - 14 päevaga küpsuse ja puruneb. Temast vabanev munarakk suundub emakasse, olles valmis viljastamiseks spermatooidi poolt. Munaraku vabanemist folliikulist nimetatakse ovulatsiooniks. Folliikuli jäätmeist moodustub kollaskeha, mis hakkab produtseerima progesterooni (oluline rasedusel). Loomaks soodsad tingimused viljastatud munaraku arenguks, hakkab emakalimaskest vohama. Munaraku mitteviljastamisel emaka limaskest irdub ja heidetakse verevooluga organismist välja (menstruatsioon). Ovariaal-menstruaaltsükkel kestab 24 - 30, enamasti 26 - 28 päeva.

Lapse arengu kindlustamisel on määrav osa kilpnäärme hormoonidel (neist sõltub nii vaimne kui ka füüsiline arenemine) ja hüpofüüsi somatotropiinil (kasvuhormoonina määrab kehahõõtmete suurenemise). Enneaegset sugulist küpsemist hoiab ära epifüüsi hormoon.

Veri

Veri moodustab koos lümfi ja koevedelikuga inimese loomorganismi sisekeskkonna. Veri täidab organismis transpordi- ja kaitsefunktsiooni. Verega kantakse kopsudest hapnikku ja seedetraktist imendunud toitaineid kudedesse. Kudedes vabanenud süsinikdioksiidi viiakse vere vahendusel kopsudesse ja teisi ainevahetusjääketrituslunditesse, hormone ning muid bioloogiliselt aktiivseid aineid nende toimekohtadesse. Vere kaudu ühtlustatakse kehatemperatuur. Veri kaitseb organismi sisestungiva nakkuse eest, sest osa vereliblesid on koos veres tekkivate ja ringlevate antikehadega võimelised kahjutuks muutma haigustekitajaid. Verel on oluline osa ainevahetuses tekkivate happeliste ja aluseliste ainete puhverdamisel ja sellega organismi sisekeskkonna suhtelise püsivuse (homöostaasi) säilitamisel.

Inimese kehakaalust moodustab veri 6 - 8 %, seega on 70 kg kaaluva täiskasvanud inimese vere maht ligikaudu 5 liitrit. Veresoontes ei ringle kogu veri, küllast suur osa on reservis depoodes: põrnas, maksas, nahhaaluskoes ja teistes kudedes. Veri koosneb vereplasmast ja verelibledest e. hemotsüütidest (vormelementidest). Vere kogumahust on vereplasmast 54 - 59 % ja vereliblesid 41 - 46 %. Vereliblede protsentarvu nimetatakse hematokritiks.

Punaliblesid e. erütrotsüüte leidub 1 mikrolitris (1 mm^3) veres meestel keskmiselt 5 miljonit, naistel 4,5 miljonit. Erütrotsüütides olev hemoglobiin (Hb) on aine, mis annab verele punase värvuse ja kannab hapnikku kopsudest kudedesse ja süsinikdioksiidi kudedest kopsudesse. Inimese veri sisaldab keskmiselt 12 - 15 % hemoglobiini, meestel 130 - 160 g/l, naistel 115 - 145 g/l, 1 g Hb saab siduda kuni 1,36 ml hapnikku.

Punalibled on kaksiknõgusa ketta kujulised tuumata rakud, nende keskmine eluiga on 120 päeva. Punaliblede suure arvu tõttu on nende üldpindala kuni 3000 m², mis loob soodsad võimalused gaasivahetuseks. Punaliblede loome e. erütropoees toimub punases luuüdis, seda stimuleerivad hüpoksia ja neerudes tekkivad ained - erütropoetiinid. Punaliblede purunemisel või nende liipoidse kesta (membraani) vigastamisel vabaneb neist hemoglobiin, seda nähtust nimetatakse hemolüüsiks.

Valgeliblesid e. leukotsüüte on 1 mikrolitris veres tervel inimesel 4 - 10 tuhat, nad on tuumaga rakud. Neid jaotatakse granulotsüütideks ja agranulotsüütideks ja nad tekivad luuüdis ja lümfisõlmedes. Üks osa leukotsüüte on amööbitaoliselt liikuvad ja võimelised õigima organismi sattunud baktereid ja võõrkehi. Rakkude

seesugust omadust nimetatakse fagotsütoosiks ja peamisteks fagotsüütideks on neutrofiilsed granulotsüüdid. Lümfootsüüdid võtavad osa põletikujärgsetest regeneratsiooniprotsessidest. Üks leukotsüüt võib hävitada üle 15 bakteri ja mõnikord hukkub seejuures ise. Vastusena verre sattunud haigust tekitavatele mikroobidele suureneb leukotsüütide arv. Seda protsessi nimetatakse leukotsütoosiks. Ka lihastöö mõjul suureneb leukotsüütide arv sõltuvalt kehalise koormuse suuruselt. Seda nähtust nimetatakse müogeenseks leukotsütoosiks.

Vereliistakud e. trombotsüüdid on tuumata ovaalsed või ümmargused moodustised, nende hulk mikroliitris veres kõigub 200 000 - 400 000 piires ja eluiga on kõigest 2 - 5 päeva. Vereliistakud sisaldavad vere hüübimiseks olulisi fosfolipiide ning veresooni ahendavat ainet serotoniini.

Vere hüübimine. Veresoone seina vigastamise korral toimuvad reaktsioonid, mis kaitsevad organismi verekaotuse vastu. Veri hüübib tänu plasmas lahustunult leiduva valgu - fibrinogeeni muundumisele lahustumatuks valguks - fibriniiks, mille niidid moodustavad hüübe - trombi. See pundumine toimub ferment trombiini mõjul fibrinogeenile. Ferment trombiin tekib valk protrombiinist tromboplastiini toimel, mis ilmub verre vereliistakute purunemisel.

Veregruppide jaotuse aluseks on erütrotsüütide pinnal esinevad A- ja B-aglutinogeenid ja vereplasmas olevad α - ja β -aglutiniinid. Kui A-aglutinogeen satub kokku α -aglutiniiniga (seda võib juhtuda vea puhul vereülekanDEL; organismis samanimelisi aglutinogeeni ja aglutiniini koos ei ole), siis punalibled kleepuvad kokku e. aglutineeruvad ja sellega kaasuva hemolüüsi tõttu ei saa täita oma põhiülesannet hingamisaaside transportijana.

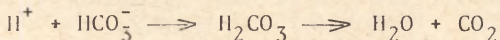
Veregrupp	Aglutinogeenid erütrotsüütidel	Aglutiniinid vereplasmas
I e. O (universaalne doonor)	puuduvad	α ja β
II e. A	A	β
III e. B	B	α
IV e. AB (universaalne retsi-pient)	A ja B	puuduvad

Vereplasma on selge kollaka värvusega vedelik ja moodustab 54 - 59 % vere kogumahust. Sisaldab 90 - 92 %

vett, 6,5 - 8 % valku ja ligikaudu 2 % väikemolekulaarseid aineid. Vereplasma valkusid albumiine ja globuliine on veres vastavalt 40 - 45 g/l (4,0 - 4,5 %) ja 17 - 35 g/l (1,7 - 3,5 %). Vereplasma valgud osalevad ainete transpordis veres. Albumiinidega on kas osaliselt või täielikult seotud kaltsium, rasvhapped; globuliinidega kortisool, türoksiin, osa lipiide, rau-da, vitamiine jmt. aineid. Vereplasma valgud osalevad organismi kaitsereaktsioonides, sest suur osa antikehi, mis tekivad vastusena haigustekitajatele, on globuliinid, nn. immunoglobuliinid. Universaalainete koostisse kuuluvad katioonid Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} ; anioonid Cl^- , HPO_4^{2-} , HCO_3^- , HSO_4^- . Vereplasma puhversüsteemid säilitavad vere ja tema kaudu ka koevedelike happe-leelistasakaalu suhtelise püsivuse, mis oleneb vesinikioonide (H^+) ja hüdroksiidioonide (OH^-) kontsentratsioonist. Tähtsamad on vesinikkarbonaatpuhver ($\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$) ja valguline puhver ($-\text{NH}_4^+/-\text{COOH}^-$), väiksema mõjuga fosfaatpuhver.

Puhvri toimenäide

Happelitest ainevahetusjääkidest ja glükolüüsil tekkivast piimhapest vabanenud vesinikioonid seotakse vesinikkarbonaadiga, moodustub vesi ja süsinikdioksiid.



Süsinikdioksiid eemaldatakse kopsude kaudu, tekitab juurde rohkem HCO_3^- , niiviisi takistatakse nihet happeliste produktide ülekaalu ja vere pH languse suunas. Kui puhversüsteemide võimsusest (leelisreservist) ei jätku tekkinud happeliste jääkide neutraliseerimiseks, muutub veri happelisemaks, pH väärtus langeb, areneb atsidoos ($\text{pH} < 7,35$).

Jõudu, mis paneb lahused liikuma, kindlustades nende läbitugimise poolläbilaskvast membraanist, nimetatakse osmootseks rõhuks. Imetajate vere osmootne rõhk püsib võrdlemisi konstantsena, ligi 60 % sellest on tingitud NaCl kontsentratsioonist. Kui viia erütrotsüüte lahusesse, mille osmootne rõhk on suurem kui vereplasmal, hakkab vedelik erütrotsüütidest liikuma lahusesse ja nad kootuvad. Madalama osmootse rõhuga lahustes erütrotsüüdid punduvad ja lõpuks lõhkevad. Vereplasma ja vormelementides säilitatakse suhteliselt konstantset osmootset rõhku.

Kestev keheline töö tingib terve rea vere füüsikalise-keemiliste omaduste muutumise. Vere viskoossus suureneb 10 % ja rohkemgi. See on tingitud vormelementide hulga suurenemisest, aga ka valkude kolloidoleku muutustest ja pH nihkest happelisuse poole, mis soodustab valkainete ioniseerumist ja hüdratatsiooni.

Vere viskoossuse suurenemine on seotud intensiivse vee väljutamisega organismist higinäärmete ja neerude kaudu. Suurenenud viskoossuse puhul suureneb ka takistus vere ringvoolule ning südame- ja vereringesüsteemi töö raskeneb. Lihastöö ajal suureneb leukotsüütide arv veres, nähtust nimetatakse müogeenseks leukotsütoosiks. Seda põhjustab vormelementiderohke vere väljumine veredepoodest ja tugevnenud lümfivool. Järgnevas faasis stimuleeritakse vereloomet luuüdis, suureneb leukotsüütide teke ning toimub nende üldarvu paljukordne tõus veres. Lihastööl suureneb vereliistakute hulk.

Süstemaatilise treeningu tulemusena tekib tihti esineva hüpoksia mõjul kompenseeriv erütrotsüütide arvu kasv (4 - 5 miljonist kuni 6 miljoni rakuni 1 mm³ veres), millega kaasneb hemoglobiini üldhulga ja vere hapnikumahutuvuse tõus.

Südame ja veresoontkonna talitus

1628. a. tõestas W. Harvey, et veri liigub organismis suletud ringina - südamest artereid pidi kudedeni ja sealt veenide kaudu südamesse tagasi.

Suur vereringe algab südame vasakust vatsakesest, hõlmab aordi ja mitmesuguse läbimõõduga arterite süsteemi, arterioolid, kapillaarid, veenid ning lõpeb õhnesveenidega, mis suubuvad südame paremasse kotta.

Väike vereringe algab südame paremast vatsakesest, kulgeb mööda kopsuartereid, kopsuarterioole, kapillaare, veene ning lõpeb kopsuveenidega, mis suubuvad südame vasakusse kotta. Kopsukapillaarides muutub venoosne veri arteriaalseks, küllastudes hapnikuga ning vabanedes süsihappegaasist.

Südame põhifunktsiooniks on transpordi-, kaitse- ja regulatsiooniülesandeid täitva vere pideva ringluse tagamine soontesüsteemis. Südame parem pool varustab verrega väikest vereringet, vasak pool suurt vereringet. Kummalgi poolel on koda ja vatsake, eraldatud fibroossete vaheseintega, milledes on klappidega suletavad avaused. Ühesuunaline verevool kodade ja vatsakese vahel kindlustatakse hõlmklappidega (kakshõlmklapp vasakul ja kolmhõlmklapp paremal südamepoolel) ja südamest väljuvate suurte veresoonte ja vatsakese vahel olevate poolkuuklappidega.

Südamelihas e. müokard ühendab endas nii vöötlihase kui silelihase omadusi. Kõige suurema võimsusega tööd sooritab südame vasaku vatsakese müokard, mille seinapaksus ulatub 10 - 15 mm-ni. Parema vatsakese seinad on õhemad (5 - 8 mm) ja kodade seinte paksus on ainult 2 - 3 mm. Raske füüsilise töö ja spordiga tegelemine põhjustab müokardi paksenemise (hüpertroofia) ja süda-

mekambrite mahu suurenemise.

Südame erutustekke- ja -juhtesüsteem. Südame kokkutõmme te käivitajaks on suurte õõnesveenide suubumiskohal asuvast atüüpilisest lihaskoest moodustises - siinus-sõlmes - tekkiv erutus. Erutus levib kodade seinas kodade vatsakeste piiril asuva atrioventrikulaarsõlmeni, sealt edasi erutusjuhtesüsteemi järgmisse ossa, Hisi kimpu ja selle sääri pidi vatsakeste lihasele (paremale vatsakesele Hisi kimbu paremat, vasakule vatsakesele vasemat säärt mööda). Juhtesüsteemi lõppharusid vatsakeste lihases nimetatakse Purkinje kiududeks. Erutuse tekke ja levikuga kaasneb müokardi kokkutõmme e. süstol. Erutunud südamelihase ei vasta teatud aja jooksul ärritusele uue erutuse tekkega. Sellist seisundit nimetatakse absoluutseks refraktaarsuseks, mis kestab sõltuvalt südame löögisagedusest 0,20 - 0,13 s, millele järgneb erutuvuse järkjärguline taastumine e. suhtelise refraktaarsuse periood kestusega 0,01 - 0,05 s. Kuna südamelihase refraktaarsuse ajal uusi ärritusi vastu ei võta, hoitakse sellega ära südamelihase kestev kontraktsioon ja tagatakse südame töö rütmilisus. Normaalselt, suhtelises puhkeolekus, tekib siinussõlmes keskmiselt 60 - 70 impulssi minutis.

Südametsükkel koosneb südamelihase kokkutõmbest e. süstolist ja lõõgastumisest e. diastolist. Löögisagedusel 70 lööki/min kestab südametsükkel ligikaudu 0,85 s ja löögisagedusel 190 lööki/min ligikaudu 0,32 s. Südame kokkutõmme algab kodade süstoliga, millega lisatakse diastoli ajal täitunud vatsakestesse täiendav kogus verd, nii et kodade süstoli lõpuks sisaldab kumbki vatsake ligikaudu 150 ml verd. Kodade süstoli järel need lõõgastuvad, algab kodade diastol ning samal ajal algab vatsakeste kokkutõmme, mille algul nn. asünkroonse kontraktsiooni faasis sulguvad kodade-vatsakeste klapid ja takistavad vere tagasivoolu kodadesse. Vatsakeste õõs on nüüd suletud, vatsakeste lihase edasise kokkutõmbe tõttu jätkub seal rõhu tõus - see on isomeetrilise kontraktsiooni faas. Kui vatsakeste siserõhk ületab rõhu aordis ja kopsuarteris, avanevad poolkuuklapid ja veri surutakse järsu tõukega aorti ja kopsuarterisse - toimub vere väljutusfaas. Puhkeolekus, kui südame löögisagedus on 70 lööki/min ja ühe südame kokkutõmbe ga paiskab vasak vatsake aorti ja parem vatsake kopsuarterisse kumbki ligikaudu 70 ml verd (70 ml on antud juhul südame löögimaht), saadetakse kummagi vatsakesega vereringesse $70 \cdot 70 = 4.900$ ml (4,9 l on südame minutimaht). Väljutusfaasi (süstoli) lõppedes vatsakeste lihas lõõgastub, nende siserõhk hakkab langema ja sulguvad poolkuuklapid, mis takistavad vere tagasiliikumist vatsakestesse diastoli ajal. Diastoli algul, iso-

meetrilise löögastumise faasis langeb rõhk vatsakestes madalamale rõhust kodades. Nüüd avanevad hõlmklapid ja algab diastoli kõige olulisem faas - vatsakeste verega täitumine. Diastoli selles faasis voolab vatsakestes verd 70 - 80 % ulatuses nende löögimahust, täiendav kogus verd lisatakse vatsakestesse kodade süstoli ajal. Suhtelises puhkeolekus, südame löögisagedusel 60 - 70 lööki/min, piisab diastoli kestusest (0,5 - 0,6 s) vatsakeste verega täitmiseks. Südame löögisageduse tõus füüsilise töö või sportliku pingutuse ajal viib kõikide südameetsükli faaside, eriti diastoli lühenemisele. Südame löögisageduse tõus üle 180 - 200 löögi/min (südametsükli kestus alla 0,3 s) halvendab südame täitumist verega ja seetõttu võib väheneda südame löögimaht.

Südame tööga kaasnevad akustilised nähud, mida nimetatakse südametoonideks. I südametoon e. süstoolne toon, mis on madalam ja kestvam kui II südametoon, tekib hõlmklappide sulgumisel süstoli algul. II südametoon e. diastoolne toon tekib poolkuuklappide sulgumisel diastoli algul. Südametoone saab kuulatleda e. auskulteerida ja registreerida fonokardiogrammna.

Südamelihase kokkutõmbeid algatanud erutus avaldub elektrilise potentsiaali muutustes. Kui südametegevusega kaasuvaid elektrinähtusi registreerida kehapiinalt, saadakse elektrokardiogramm (EKG). I lülituseks nimetatakse parema käe ja vasaku käe, II lülituseks parema käe ja vasaku jala ning III lülituseks vasaku käe ja vasaku jala vaheliste potentsiaalikoikumiste registreerimist. Elektrokardiogrammil esinevaid väljalööke nimetatakse sakkideks, mida tähistatakse ladina tähestiku suurte tähtedega P, Q, R, S ja T. P-sakk tekib kodade, Q-, R- ja S-sakk vatsakeste depolarisatsioonil, T-sakk aga näitab vatsakeste repolarisatsiooni. P-saki algusest kuni Q-saki alguseni mõõdetud aeg vastab erutuse levimisele kodadelt vatsakestele ja aega Q-saki algusest kuni T-saki lõpuni nimetatakse vatsakeste elektriliseks süstoliks. Muutuste järgi elektrokardiogrammi sakkide kuju ja nende vahelises ajaintervallis on võimalik iseloomustada südame erutusjuhtesüsteemi ning ka südamelihase seisundit.

Süda reageerib väga tundlikult nii füüsilisele pingutusele kui vaimsele pingele, muutused tekitavad sümpaatilise närvisüsteemi mõjul südame löögisageduses, löögimahus ja südame verevarustuses sageli juba enne füüsilise tegevuse algust. Füüsilise pingutusega kaasub minutimahu tõus, mis raskel pingutusel võib hästi treenitud sportlasel suurendada 30 - 40 liitrit/min, kasvab vereringe kiirus ja tõuseb vererõhk, töötavate lihaste verevarustus paraneb.

Vere liikumine veresoonekonnas oleneb seal valitsevatest rõhkude vahedest ja veresoonekonna takistusest. Takistus, mida avaldab veresoone teatud lõik vere voolamisele, oleneb vere viskoossusest, veresooneidügu pikkusest ja raadiusest.

Verevoolu mahtkiirus on võrdeline soontesüsteemi eri osades olevate rõhkude vahega, veresoonte raadiuse neljanda astmega ja pöördvõrdeline veresoone pikkuse ning vere viskoossusega.

Eristatakse üldist ja lokaalset verevoolu mahtkiirust. Kehalisel tööil verevoolu üldine ja lokaalne mahtkiirus aktiivsetes organites tõuseb.

Vere joonkiiruseks nimetatakse vereosakeste liikumise kiirust piki veresoont. Joonkiiruse mõõtühikuks on cm/s ja ta on võrdeline verevoolu mahtkiirusega ning pöördvõrdeline veresoonte ristlõikepindalaga.

Vere keskmist joonkiirust iseloomustab ka aeg, mis kulub vereosakestel üheks täisringiks veresoonte süsteemis, s.o. vereringe aeg. Jõudeolekus toimub see 21 - 23 s jooksul, kergel tööil lüheneb vereringe aeg 15 sekundini ja raskel kehalisel pingutusel alla 10 s.

Vere väljutusfaasi ajal saavutab vererõhk aordis suurima väärtuse, s.o. maksimaalne e. süstoolne rõhk (~ 16 kPa, 120 mm Hg), mis pärast süstoli lõppemist ja poolkuulklappide sulgumist langeb aordis minimaalse e. diastoolse vererõhu tasemele (~ 10,6 kPa, 80 mm Hg). Südame tsüklilisest tööst tulenevad vererõhu kõikumised tasanduvad arterioolides, kus rõhk langeb järsult. Kapillaarides, veenulites ja veenides väheneb rõhk veelgi, vererõhu kõikumised peaaegu puuduvad. Oõnes-veenides on vererõhk soontesüsteemi madalaim ja võrdub ligikaudu nulliga, s.o. atmosfäärirõhuga, olles lähedane rindkereõõnes olevale rõhule.

Kõngamisel tekkivad rõhu muutused rindkereõõnes avaldavad mõju vererõhule südamesse suubuvates veenides ja sellega seoses suureneb venoosse vere juurdevool südamesse sissehingamisel ja väheneb väljahingamisel.

Vererõhu mõõtmine on võimalik otseste ja kaudsete meetoditega. Kui otsene vererõhu mõõtmine eeldab manomeetriga ühendatud kanüüli sisseviimist veresoones-tikku, siis kaudsete meetodite kasutamisel organismi terviklikkust ei rikuta.

Korotkovi järgi mõõdetakse arteriaalselt vererõhku sfügmomanomeetri abil õlavarrearteris, mis asub ligikaudu südame kõrgusel ja on vastu õlavarreluud hästi kokkusurutav. Õlavarre ümber asetatakse elavhõbeda- või membraanmanomeetriga ühendatud mansett, mille siserõhku saab tõsta kummiballooni abil. Mansettialune arter sulgub ja verevool temas lakkab, kui õhurõhk man-

setis tõsta kõrgemale vererõhust arteris. Järgnevalt langetatakse aeglaselt ja sujuvalt rõhku mansetis ja auskulteerides stetoskoobiga arterit manseti alumise serva kõrgusel, registreeritakse manomeetri näidud nn. Korotkovi toonide tekke momendil (süstoolne arteriaalne rõhk) ja nende kadumisel (diastoolne arteriaalne rõhk).

Süstoolse ja diastoolse rõhu erinevust nimetatakse pulsirõhuks ja selle suurus puhkeolekus on keskmiselt 40 mm Hg ($120 - 80 = 40$). Süstoolset rõhku vahemikus 100 - 140 mm Hg nimetatakse normotooniliseks, alla 100 mm Hg hüpotooniliseks ja üle 140 mm Hg hüpertooniliseks.

Kehaline töö põhjustab vererõhu tõusu. Süstoolne rõhk võib tõusta kuni 170 - 200 mm Hg. Keskmise ja diastoolne vererõhk muutuvad vähem. Kestva ja raske töö korral võib diastoolne vererõhk langeda tunduvalt, seda seletatakse töötavate skeletilihaste veresoonte laienemisega.

Südame süstoli ajal tekkinud rõhu laine levib mööda arterite seinu edasi, põhjustades nende võnkumist, mida tuntakse arteriaalse pulsina. Pulsilaine kõvera üleskirjutust nimetatakse sfügmogrammiks.

Üldine vereringe on kohalike vereringete paralleelselt ühendatud süsteem. Seetõttu varustatakse kõiki organeid verega pidevalt, kusjuures verevoolu maht on keha eri organites ja osades erisugune, suurem aktiivsetes organites. Sõltuvalt organismi üldseisundist ja ajaühikust tehtavast tööst (arendatavast mehhaanilisest võimsusest), aga ka psüühiliste tegurite mõjul muutub üldine verevoolu maht pidevalt. Südame töö, veresoonkonna eri osade läbilõikepindala ja mahu ning tsirkuleeriva vere hulga vahel valitsevad kindlad suhted, mida reguleerivad neurogeensed ja humoraalsed mehhanismid.

Südant innerveerivad uitnärvi (n. *vagus*) ja sümpaatiliste närvide kiud. Automaatne erutustekkesüsteem sünnisõlmes on vegetatiivse närvisüsteemi sümpaatilise ja parasümpaatilise osa ning kõrgemate närvikeskuste, sealhulgas ka ajukoore mõju all. Sümpaatilise eferentse innervatsiooni saab süda seljaaju rinnaosa ülemisest segmentidest. Sümpaatilise närvisüsteemi mõju südamele, mis vahendatakse närvilõpmetes mediaatori noradrenaliini kaudu, avaldub südametegevuse kiirenemises, kokkutõmbelõu tugevnemises, erutuse ja erutusjuhtivuse tõusus.

Uitnärvi ärritamisel südametegevus aeglustub parasümpaatilise närvisüsteemi mõjul, südame kokkutõmbelõud väheneb, erutus ja erutusjuhtivus langevad. Erutus antakse parasümpaatiliste närvide lõpmetes edasi

seal vabaneva mediaatori atsetüülkoliini vahendusel.

Südametalitluse reflektorne regulatsioon kindlustatakse piklikaju ja seljaajukeskuste ning hüpotalamuse ja ajukoore osavõtul aordikaares ja unearterite hargnemise kohal asuvate baro- ja pressoretseptorite aferentsele impulsatsioonile. Rõhu tõusu korral veresoontes ning veresooneste venitusel tugevneb seetõttu erutus uitnärvikeskustes, põhjustades südame löögisageduse vähenemist ja kontraktsioonide nõrgenemist.

Oõnesveenide paremasse kotta suubumise kohal asetsevad samuti retseptorid, mis reageerivad rõhu tõusule selles piirkonnas. Impulsid nendelt retseptoritelt pidurdavad uitnärvi keskusi ja südametegevus tugevneb - toimib Bainbridge'i refleksi. Lõök kõhuseina pihta ärritab sooloretseptoreid, see ärritus antakse edasi uitnärville ja võib põhjustada südame seiskuse (Goltzi refleksi).

Südame löögisagedus võib muutuda termoretseptorite ärritamisel. Kehatemperatuuri tõusul, näiteks kehalisel tööl või ümbritseva keskkonna kõrge temperatuuri toimel kasvab südame löögisagedus rohkem kui samal tööl normaalse temperatuuri juures. Kehatemperatuuri tõusul 1 °C võrra suureneb südame löögisagedus keskmiselt 10 löögi võrra minutis.

Südame talitluse humoraalses regulatsioonis on tähtsamateks neerupealise säsihormoonid adrenaliin ja noradrenaliin, mis kutsuvad esile südame kontraktsioonide sa-genemise ja tugevnemise. Kilpnäärme hormoon türoksiin tugevdab südame vastuvõtlikkust impulssidele, mis saabu-vad nii uitnärvi kui sümpaatiliste närvide kaudu. Jõudeolekus, kui ülekaalus on uitnärvi toime, on südame talitus pidurdatud; sümpaatilise närvi ärritusel tõuseb südame löögisagedus neis tingimustes tugevasti.

Kaaliumioonid pidurdavad südame löögisagedust ja vähendavad südame kontraktsioonide tugevust, langetavad südamelihase erutuvust ja juhtivust. Südame voolutamise kontsentreeritud kaaliumilahusega põhjustab eksperimentid tema seiskumise diastolis.

Kaltsiumioonid kiirendavad südame löögisagedust ja tugevdavad kontraktsioone, müokard erutub ja juhtivus tõuseb. Kaltsiumi kõrgel kontsentratsioonil südame voolutamisevedelikus seiskub südametegevus süstolis. Kaltsiumi vähesusel südame kontraktsioonid nõrgenevad.

Veresoontel on ahendavad närvid - vasokonstriktorid, mis kuuluvad sümpaatilisse närvisüsteemi. Nende tsentrumite erutuse kasvamisel veresooned ahenevad, erutuse langemisel aga laienevad. Kemoretseptorid erutuvad verekoostise muutumisel, nad on tundlikud vere CO₂- ja O₂-sisalduse, adrenaliini ja teiste ainete

kontsentratsiooni muutustele. Need muutused tõstavad reflektorselt vererõhku veresoonte ahenemise ja südame töö intensiivistamise kaudu.

Humoraalsed mõjud veresoontele teostuvad teatud veres olevate keemiliste ainete (hormoonid, mediaatorid) vahetu toime mõjul veresoonte seintesse nende ahenemise või laienemisenä. Veresooni vahetult ahendav toime on noradrenaliinil ja adrenaliinil ning hüpofüüsi tagasagara hormoonil vasopressiinil. Tugev veresooni ahendav toime on neerudes produtseeritaval ainel reniinil, mille eritus suureneb neeruvereväruvustuse puudulikkuse korral. Reniin aktiveerib vereplasmas leiduvat valkainet angiotensiini, mis omakorda põhjustab veresoonte ahenemist ja vererõhu tõusu.

Veresooni laiendavad ained on atsetüülkoliin, histamiin, adenosüütrifosforhape (ATF), piimhape, süsihape jt. Atsetüülkoliin tekib parasümpaatiliste närvide lõpmetes ning laiendab arterioole. Ebapüsivuse tõttu on sellel mediaatoril vaid kohalik efekt ja ta laiendab veresooni, mis asuvad närvilõpmete läheduses. Histamiin tekib mao- ja sooleseinas, nahas ja töötavates skeletilihastes, põhjustades kapillaaride laienemist peamiselt kõhuõõneorganites.

Tööpuhust e. funktsionaalset hüperemeiat seletatakse tänapäeval neurogeensete mehhanismidega. Väidetakse, et mõõda motoorseid närve saabuvad impulsid põhjustavad lihaste kontraktsiooni ja kindlustavad sellega ka vereväruvustuse suurenemise. Vere ümberpaiknemine töö ajal on vajalik tööpuhuse hüperemeia kindlustamiseks, verevoolu piiramine mittetöötavates organites vähendab üldist vajalikkust tsirkulatsioonimahtu. Skeletilihaste dünaamiline töö soodustab venoosse tagasivoolu suurenemist südamesse ja südame kontraktsioonide tugevdamist. Pingutaval lihastööl võib südame löögimaht tõusta 150 - 200 ml, seega löögisagedusel 200 lööki minutis on minutimaht 35 - 40 liitrit. Vere juurdevool skeletilihastes suureneb seejuures 30 - 35 liitrit.

Ained difundeeruvad verest rakkudesse ja rakkudest verre vesilahustena. Vesi, väljudes kapillaaridest ning tekkides ka kudedes endis, suundub koos temas lahustunud ainetega tagasi verre. Vee tagasimineku toimub kahel teel: osa vett imendub tagasi kapillaaridesse, teine osa viiakse tagasi veresoonestikku lümfina läbi harulise lümfisüsteemi. Kapillaaride keskmine diameeter on 5 - 10 µm, keskmine pikkus 0,3 mm. Ühest endoteelirakkude kihist koosneva seinä paksus on 1 µm. Kapillaaride seinte üldpindala on inimesel üle 6000 m². Selle pinnaga on pidevalt kontaktis mitu liitrit verd. Kapillaarveresoone sein on omapärane elus filter. Vesi ja selles lahustunud hapnik, süsihappegaas ja mitmesugused

väikese molekulkaaluga ained (soolad, glükoos, aminohapped jne.) võivad väga kiiresti läbida kapillaarseina. Kolloidid, sealhulgas plasmavalgud tavaliistes tingimustes kapillaariseina ei läbi, kuna nende molekulid on suuremad. Kapillaariseinte läbilaskvus suureneb hüpoksias ja vesinikioonide kontsentratsiooni tõusul (intensiivne füüsiline pingutus). Ainete liikumisel läbi kapillaariseina eristame seega difusiooni-, filtratsiooni- ja osmoosiprotsesse.

Koevedelik, mis siirdub lümfisoontesse, muutub lümfiks. Oma keemiliselt koostiselt on lümf sarnane vereplasmaga, erinedes sellest väiksema valgusisalduse poolest (4 - 5 %). Lümf sisaldab vormelemente leukotsüüte, peamiselt lümfotsüüte, mis tekivad lümfisõlmedes. Erütrotsüüdid puuduvad, seetõttu on lümf värvitu. Lümfisüsteem algab omavahel anastomoseeruvate kapillaaride võrguga, mis on tunginud kõikidesse kudedesse ja organitesse. Lümfikapillaaridest satub lümf lümfisoontesse, mis suubuvad kas rinnajuhasse või paremasse lümfijuhasse, mis on omakorda ühenduses rangluualuse veeniga.

Ööpäevas tekib inimesel umbes 1200 - 1600 ml lümfi. Lümfisoonte teel on palju lümfinäärmeid, mis on lümfotsüütide tekkekohaks ja etendavad tähtsat osa organismi kaitsmisel haigusi tekitavate mikroorganismide vastu.

Seedimine

Seedimise üldiseloostus. Ainevahetuse kindlustamiseks on tarvilik energiavarude, kudede ja rakkude ehituseks vajalike materjalide, samuti vee, mineraalainete ja vitamiinide juurdevool. Seda kindlustab toit ja jook. Seedimine tagab toidu füüsikalise ja keemilise töötamise, tehes võimalikuks organismile vajalike ainete seedetraktist verre imendumise. Füüsikaline töötus seisneb toiduosiiste peenestamises, segamises ja lahustamises. Keemiliseks töötuseks on toidus leiduvate valkude, süsivesikute ja rasvade ensümaatiline hüdroolüüs. Seede-ensüüme produtseerivad seedenäärmed, kust nad suunatakse seedetrakti seedenõrede koostises. Proteasid lagundavad valke, lipaasid rasvu, karbohüdraasid süsivesikuid. Keerulise töötuse lõpp-produktideks on aminohapped, monosahhariidid (glükoos) ning rasvhapped ja glütseriin.

Toidumass liigub seedetraktis edasi mao- ja sooleseinas olevate silelihaste kontraktsioonide abil. Põhiline on peristaltiline kontraktsioon. Toidu segamist kindlustavad pendelliigutused ja rütmiline segmentatsioon. Need kolm kontraktsioonitüüpi kokku moodustavad seedemotoorika.

Seedeprotsesside selgitamisel on olnud suur tähtsus I. Pavlovi kroonilise katse metoodikal. Operatsiooniga tehakse katseloomal (enamasti koeral) seedetalitus uuritavaks. Selleks ühendatakse fistuli abil seedetrakti teatud osa kehapinnaga või juhitakse seedenõre kehapinnale, kus on võimalik teda koguda määramaks seede-ensüümide aktiivsust ning seedenõre produktsiooni intensiivsust. Uuring tehakse pärast katselooma täielikku tervenemist, seega normaalsetes tingimustes.

Kroonilise katse metoodikat kasutades selgitati kaks faasi enamiku seedenäärmete talitluses. Esimeses reflektorses faasis aktiveerivad seedenäärmete talitlust põhiliselt parasümpaatilised närvid, ka peatset toimumist informeerivad signaalid. Sümpaatilised närvid pidurdavad seedetalitlust, ka seedemotoorikat. Suhteliselt lühiaegsele reflektorsele faasile järgneb paljusid tunde vältav faas, mille esilekutsumises on närvi mõjude kõrval tähtis koht keemilistel mõjudel (toidu koostisosade ja seedehormoonide mõju seedenäärmetele).

Seedimine suus. Seedimine algab toidu peenestamisega ja niisutamisega. Sülje koostises olevad karbohüdraasid amülaas ja maltaas alustavad süsivesikute lagundamist.

Seedimine maos. Maomahla koostises olev soolhape katkestab süsivesikute seedimise ning soodustab valkude

lagunemist. Soolhappesisalduse tõttu kulub 100 ml maomahla neutraliseerimiseks 40 - 60 ml 10normaalset leelislahust. Suuremal leelislahuse kulul on tegemist ülehappesusega, vähemalt - alahappesusega.

Põhiliseks proteaasiks maomahlas on pepsiin, eritub inaktiivse pepsinogeenina, mida aktiveerib soolhape. Maomahlas on ka lipaas, mis lõhustab emulgeeritud rasvu (näiteks piimarasva).

Mao sisepind on kaetud limaga, mis kaitseb magu proteaaside seediva toime eest.

Toit peatub maos 6 - 8 tundi, rasvane toit 8 - 10 tundi.

Maomahla sekretsiooni stimuleerivad parasümpaatilised närvid ning seedehormoonid gastriin ja enterogastriin.

Seedimine kaksteistsõrmikus. Selle lühikese seedetraktiosa läbib toidumass kiirelt. Siia aga juhitakse kahe olulise seedenäärme nõre (kõhunäärme nõre ja sapp). Lisandub soolenõre.

Kõhunäärme osa seedimises. Kõhunäärme ehk pankrease nõres leidub valke lagundavat trüpsiini (eritub inaktiivse trüpsinogeenina, seda aktiveerib soolenõre ensüüm enterokinaas), süsivesikuid lagundavat amülaasi ja rasvu lagundavat lipaasi. Kõhunäärme talitluse aktiveerimises on olulisel kohal parasümpaatilised närvid ja seedehormoon sekretiin.

Sapp tekib maksarakkude talitluse tulemusel ja koguneb sapiõide. Siit juhitakse see kaksteistsõrmikusse. Sapp aktiveerib lipaasi ja on seetõttu tähtsal kohal rasvade seedimisel. Sapp emulgeerib rasvu, muutes neid paremini lõhustuvateks ja imenduvateks, intensiivistab soole mootorikat.

Seedimine peensooles. Siin realiseerub kõhunäärme, sapi ja soolenõre ensüümide mõju ning põhiliselt lõpeb seedimine. Eristatakse seedimist soole õõnes ja soole seinas. Soole õõnes toimub seedimine mainitud seedenõrede ensüümide toimetel. Seedeprotsessi lõppaktiks on seedimine soole seinas. Erinevalt seedimisest õõnes ei valata toidumassi seedemahlagaga üle, vaid toiduosis seostatakse sooleseina rakkude membraanil, kus seedeensüüm toimib temaga vahetus kontaktis olevale toiduosiisele. Vabanevad seede lõpp-produktid - aminohapped, monosahhariidid ning rasvhapped ja glütseriin, mis imenduvad vahetult läbi veresoone seina verre.

Seedimine jämesooles. Siin leiduvad bakterid põhjustavad süsivesikute käärimise ja valkude mädanemise. Tänu sellele on mõningal määral seeditav taimne tselluloos.

Lihastöö mõju seedimisele. Mõõdukas lihastalitlus (näiteks jalutamine) soodustab seedenäärmete talitlust ja

seedemotoorikat. Intensiivne lihastöö avaldab pärssivat toimet. Eriti ilmekas on stimuleerivate närvimõjude asendumine pidurdavatega seoses sümpatoadrenaalsüsteemi aktiveerumisega. Ka hormoon adrenaliin pidurdab seedemotoorikat. Kehalise pingutuse sooritamisel väheneb verevool seedeorganitesse, see on oluliseks teguriks seedetalitluse pärssimisel.

Kui kehaline pingutus sooritatakse 2 - 2,5 tundi pärast söömist, siis maomahla nõristus ja mao motoorika intensiivistuvad. Taastumisperioodil taastub ja intensiivistub kõigepealt süsivesikuid lagundavate seede-ensüümide aktiivsus, siis valke lagundavate ensüümide aktiivsus. Pikaks ajaks jääb inhibeerituks seedelipaaside aktiivsus.

Hingamine

Hingamise all mõistetakse neid protsesse, mis kindlustavad gaasivahetuse organismi ja väliskeskkonna vahel ning organismis. Organismis toimuvaks toitainete bioloogiliseks oksüdatsiooniks vajalik hapnik viiakse väliskeskkonnast kudedesse, seal tekkinud süsihappegaas aga eemaldatakse kopsude kaudu hingamiselundite, südame, vereringesüsteemi ning vere koostööstatud tegevuse tulemusel.

Hingamisel on eristatavad:

- 1) gaasivahetus väliskeskkonna ja kopsualveoolide vahel e. väline hingamine;
- 2) gaasivahetus alveolaarõhu ja kopsude kapillaarvere vahel e. difusioon kopsudes;
- 3) hapniku ja süsihappegaasi transport verega;
- 4) gaasivahetus kapillaarvere ja kudede vahel;
- 5) rakusisene e. koehingamine (vt. biokeemia loenguid).

Väline hingamine toimub rindkere mahu muutuste tõttu. Kopsud täidavad rindkereõõne peaaegu täielikult. Kopsusid katva kopsukelme ja rindkere seesmise pinna vahele jääb hermeetiliselt suletud pilutaoline ruum e. pleuraõõs, mis on täidetud üliõhukese vedelikukihiga. Atmosfäärirõhust madalama rõhu tõttu pleuraõõnes on kopsud välja venitatud ja järgivad rindkere mahu muutusi.

Sissehingamisel e. inspiiriumis kontraheeruvad roideid tõstvad sissehingamislihased, diafragma kuppel lameneb, selle tulemusel rindkere maht suureneb ja kopsusisene rõhk muutub atmosfäärirõhust madalamaks, tekivad negatiivne rõhk imeb õhu kopsudesse. Väljahingamisel e. ekspiiriumis laskuvad roided alla, diafragma ku-

merdub, rindkere maht väheneb ning kopsusisese rõhu tõusu tõttu surutakse osa kopsudes olevast õhust välisõhku. Sissehingamisel suureneb rindkere maht kolmes suunas: eest-taha, vertikaalsuunas ja külgsuunas. Hingamislihaste kontraktsiooni kiirust näitab pneumotahhomeetri abil mõõdetud õhu mahtkiirus (l/s) sisse- ja väljahingamisel. Sportlastel on see näit sissehingamisel 6 - 12 liitrit sekundis.

Rahulikul hingamisel läheb kopsudesse ja eemaldatakse ühe hingetõmbega 0,4 - 0,6 l õhku, seda nimetatakse hingamismahuks (V_T). Osa sellest õhust (150 - 160 ml) täidab nina- ja neeluruumi, hingetoru ja suured kopsutorud. See on surnud ruum, siin õhk soojeneb, puhastub tolmuosakestest ja küllastub veeauruga. Kopsude ventilatsioon e. hingamise minutimaht (\dot{V}) on ühes minutis kopsusid läbinud õhu hulk. See võrdub hingamissageduse (f_R) ja hingamismahu (V_T) korrutisega. Puhkeolekus on keskmine hingamise minutimaht 6 - 14 l/min. Maksimaalne kopsude ventilatsioon ($\dot{V}_{\max} = 180 - 240$ l/min) määratakse kas forsseeritud hingamisel 15 - 20 s jooksul või maksimaalsete kehaliste koormuste sooritamisel.

Kopsualveoolideni jõudnud ja seega gaasivahetusest osavõtva õhu hulk ühes minutis on alveolaarventilatsioon (\dot{V}_A). Selle leidmiseks lahutatakse hingamismahust (0,5 l) surnud ruumi maht (150 ml) ja korrutatakse saadud maht hingamissagedusega.

Hingamismahtu saab suurendada nii sisse- kui väljahingamisel. Pärast tavalist väljahingamist maksimaalsel sügavusel välja hingates saadud ruumala on ekspiratoorne e. väljahingamise reservmaht (ERV) 1,5 l, pärast tavalist sissehingamist maksimaalse sügavuseni sisse hingates - inspiratoorne e. sissehingamise reservmaht (IRM) 2,0 l. Maksimaalse sügavusega sissehingamise järel välja hingatud õhu hulk on kopsude eluline mahtuvus e. vitaalkapatsiteet (VC) 3,5 - 5 l.

Pärast maksimaalset väljahingamist jääb kopsudesse õhu hulk, mida nimetatakse jääk- e. residuaalmahuks (RV = 1,0 - 1,5 l). Pärast maksimaalset sissehingamist kopsudes olev õhu hulk on kopsude kogumahtuvus e. totaalkapatsiteet (TC = 5 - 8 l).

Gaasivahetus välisõhu ja alveolaarõhu vahel hoiab viimases süsihappegaasisisalduse madalama ja hapnikusisalduse kõrgema kui venoosses veres. Seepärast difundeerub CO_2 venoosest verest alveolaarõhku ja O_2 alveolaarõhust verre. Väljahingatud õhus on CO_2 sisaldus madalam ja hapniku sisaldus kõrgem kui alveolaarõhus.

Gaasivahetus alveolaarõhu ja kopsude kapillaarvere vahel toimub difusiooni teel kõrgema osarõhu e. partsiaalarõhu poolt madalama suunas. Partsiaalarõhu all mõistetakse

seda osa üldisest rõhust, mis vastab iga gaasi hulgale gaaside segus. Gaaside osarõhk atmosfääriõhus (pO_2 , pCO_2 , pN_2) arvutatakse järgmiselt:

$pO_2 : 760 = 20,96 : 100$, kust $pO_2 = 159$ mm Hg;

$pCO_2 : 760 = 0,02 : 100$, kust $pCO_2 = 0,2$ mm Hg;

$pN_2 : 760 = 79,02 : 100$, kust $pN_2 = 600,8$ mm Hg.

Kuna alveolaarõhu pO_2 on 102 mm Hg, alveoole ümbritsevas veres ainult 40 mm Hg, siis on loomulik, et hapnik difundeerub alveoolidest verre ja toimub selle arteriseerumine. Süsihappegaasi difusiooni verest alveolaarõhku põhjustab aga suurem pCO_2 veres (47 mm Hg), võrreldes olukorraga alveoolides (40 mm Hg).

Hapniku transport verrega toimub peamiselt punaliblede e. erütrotsüütide abil, milles olev hemoglobiin, ühinedes hapnikuga, moodustab ebapüsiva ühendi - oksühemoglobiini (HbO_2). Ühe grammi hemoglobiini kohta tuleb 1,36 ml hapnikku. Kui 100 ml veres leidub 15 g hemoglobiini (15 g%), on vere hapnikumahtuvus e. hapniku mahuprotsent $1,36 \times 15 = 20,4$ ml O_2 . Seega O_2 mahuprotsent näitab, kui palju O_2 sisaldab 100 ml verd antud pO_2 juures. Peale hemoglobiinisalduse oleneb see näitaja ka hemoglobiini küllastatavusest hapnikuga, s.o. oksühemoglobiini protsendist. Hemoglobiini ja hapniku ühendi - oksühemoglobiini teke ja dissotsiatsioon oleneb pO_2 väärtustest, temperatuurist, pCO_2 väärtustest ja pH-st. Hapniku väikeste osarõhkude juures muutub Hb küllastatus järsult, suuremate O_2 osarõhkude juures on küllastatuse muutused väikesed. Kudedes, kus pO_2 on madal, annab veri kiiresti O_2 ära, kopsudes aga küllastub hapnikuga peaaegu 100%liiselt. Temperatuuri tõusul, pCO_2 kõrgenedes ning pH langedes hemoglobiini hapnikusidumise võime nõrgeneb, sellesuunalised nihked toimuvad kudedes ja soodustavad O_2 äraandmist verest. Seega soodustatakse kudedes oksühemoglobiini dissotsiatsiooni, kopsudes aga oksühemoglobiini teket. Hingamispeetusel e. apnoe kestel väheneb veres järsult oksühemoglobiini hulk.

Süsihappegaasi transport toimub peamiselt süsihappe naatriumi- ja kaaliumisooladena: süsihappegaasist ja veest tekib punaliblede ferment karboanhüdraasi juuresolekul süsihape, mis dissotsieerub vesinikuks ja vesinikkarbonaadiks, see difundeerub vereplasmasse. Puhkeolekus on süsihappegaasi mahuprotsent 55 - 58. Veres olevast süsihappegaasist on lahustunud vereplasma ja erütrotsüütides 10 %, seotult hemoglobiiniga 10 %, põhiline osa vesinikkibikarbonaadina vereplasma ja punaliblede (80 %).

Gaasivahetus kapillaarvere ja kudede vahel toimub difusiooni teel läbi kapillaariseinte partsiaalrõhkude erinevuse tõttu. Kui kapillaaridesse voolavas veres on pO_2 100 mm Hg, siis kehalisel tööil võib pO_2 kudedes langeda peaaegu nullini. Hapniku difusiooni tulemusel hakkab vere pO_2 langema, see soodustab oksühemoglobiini dissotsiatsiooni ja O_2 edasist kiiret minekut kudedesse. Gaasivahetust läbi kapillaariseinte soodustab ka vere vedela osa filtratsioon vererõhu mõjul. Kui arteriaalses veres on O_2 mahuprotsent 20, siis kudedest äravoolavas venoosses veres langeb see 13ni, seega anti kudedele hapnikku 7 mahuprotsendi ulatuses. Hapniku mahuprotsentide vahet arteriaalses ja venoosses veres nimetatakse arteriovenoosseks diferentsiks.

Hingamine kehalisel tööil on seotud lihastegevuseks vajaliku energia ja hapniku tarbimise kasvuga. Tehtava töö võimsuse ja O_2 tarbimise vahel on lineaarne seos kuni maksimaalsete koormusteni. Ühe või teise töö sooritamisel oksüdatsiooniprotsessideks kuluvat O_2 hulka nimetatakse hapnikuvajaduseks. Üldise hapnikuvajaduse määramiseks tuleb leida tarbitud hapniku hulk vahetult töö jooksul ning sellele lisada O_2 hulk, mida tarbiti pärast tööd rohkem kui sama aja kestel puhkeolekus.

Kehalisel tööil rahuldatakse skeletilihaste, südamelihase, hingamislihaste ja siseelundite suurenenud hapnikuvajadus hingamise ja südame-vereringesüsteemi töö intensiivistumisega. Hapniku utilisatsiooni kasv ja pO_2 langus venoosses veres tingib O_2 ülemineku suurenemise alveolaarrõhust verre. Seoses töö võimsuse suurenemisega kasvab kopsude ventilatsioon ning suureneb sissehingatud õhust hapniku kasutamine. Tänu kopsude ulatuslikule venitusele sissehingamisel ja kopsu läbi-va vere hulga kasvule intensiivistub gaasidifusioon kopsudes. Verevoolu mahtkiiruse kasvu kehalisel tööil soodustab arteriovenoosete anastomooside avanemine. Vere hapnikumahutavuse tõusu soodustab ka veredepoostest erütrotsüütide- ja hemoglobiinirikka vere paiskamine suurde vereringesse. Kehalisel tööil hapniku utilisatsioon kudedes poolt kasvab, see toimub kudede pO_2 languse arvel ja oksühemoglobiini intensiivsema dissotsiatsiooni tõttu (t° tõus, pH langus). Hapniku paremat kasutamist soodustab ka töötavate organite vereringluse intensiivistumine vere ümberjaotuse tagajärjel. Hapniku tarbimise maksimumi e. maksimaalse aeroobse võimsuse (hapnikulagi) määramiseks leitakse O_2 tarbimine suutlikkuseni kasvavatel koormustel veloergomeetril või treddanil. Hapnikulage võib määrata ka loomuliku sportliku tegevuse ajal. Hapnikulagi on üks põhilistest treenitusseisundi näitajatest kehtusaladel. Mittetreenituil on O_2 tarbimise maksimum 2,5 - 3,5 l/min e. 40 - 50 ml/kg.

min, hästitreenituil 6 - 7 l/min e. 80 - 90 ml/kg.min.

Sellisel tööil, mil hapnikuvajadus minutis ei ületa hapnikulage, tekib kudede hapnikuvajaduse ja O_2 kätetoimetamise vahel tasakaal, s.o. tõeline püsiseisund (*steady state*). Niisuguse intensiivsusega tööil, mil O_2 -vajadus on hapnikulaest kõrgem, võib O_2 neeldumine kopsude kaudu samuti tasakaalustuda. Sel puhul tekib näiv püsiseisund, kuna kasutatud O_2 hulk ei kata organismi hapnikutarvidust. Tõelise püsiseisundi korral võib tööd teha küllalt kaua (maratonidistantsid), näiv püsiseisund on näiteks 5000 m jooksumine.

Kui kehalisel tööil ei suudeta rahuldada kudede hapnikuvajadust, sooritavad lihased tööd hapnikupuuduse tingimustes ning tekib hapnikuvõlg. Hapnikuvõla suurus oleneb töö võimsusest ja kestusest. Töö sooritamisel hapnikuvõla tingimustes suureneb järsult ATP resünteesi anaeroobsete protsesside osatähtsus. Hapnikuvõla likvideerumine algab töö lõppedes, taastumisperioodi kestel. Sel ajal ületab O_2 tarbimine puhkeoleku taseme, selle O_2 arvel toimub orgaaniliste ühendite, sealhulgas ka töö jooksul tekkinud piimhappe oksüdeerumine. Samuti toimub organismi hapnikuvarude (2 l) taastamine, energiarikaste fosforühendite ja glükogeeni resünteesi. Hapnikuvõla määramisel leitakse pärast kehalisi pingutusid taastumisperioodi ajal lähtetasemega võrreldes kõrgenenud hapnikutarbimine.

Kui hapnikuvõlg saavutab maksimaalväärtuse, pole võimalik jätkata tööd endise intensiivsusega, selle põhjuseks on eelkõige lihaste ATP ja kreatiinfosfaadi sisalduse langus ning piimhappe kuhjumine. Mittetreenitud taluvad hapnikuvõlga 6 - 10 l, hästitreenitud sportlastel võib hapnikuvõlg ulatuda 15 - 20 liitrit. Hapnikuvõla talumisvõime on üheks anaeroobse töövõime näitajaks.

Hingamise regulatsioon toimub neurohumoraalsel teel, s.o. närviimpulsside ja keemiliste ainete abil. Hingamist reguleerib piklikajus asuv hingamiskeskus, mis koosneb sissehingamis- ja väljahingamiskeskusest. Hingamiskeskusest lähevad impulsid seljaaju närvirakkudele, mis innerveerivad hingamislihaseid. Hingamiskeskuse üldine erutuvus ja seetõttu ka hingamissagedus ja -sügavus olenevad kõrgematelt ajuosadelt (ajusild, ajukoore) ja perifeeriast lähtuvatest mõjustustest (kopsude venituse retseptorid, skeletilihaste retseptorid ja veresoonte kemoretseptorid). Hingamiskeskuse erutsusseisundit muudavad CO_2 ja O_2 osarõhud arteriaalses veres. pCO_2 tõus ja pO_2 langus veres suurendavad hingamiskeskuse erutsusseisundit, mille tulemusel kopsude ventilatsioon (V) suureneb. Hingamiskeskus on eriti tundlik vere CO_2 muutuste suhtes, O_2 muutuste suhtes on tundlikkus väiksem.

Hingamiskeskust mõjustab ka piimhape ja vere reaktsiooni nihe happelisuse suunas. Süsihappegaas mõjustab hingamiskeskust peale otsese kokkupuute ka reflektorselt veresoontes paiknevate kemoretseptoritega. Viimaste tundlikkus CO_2 liia ja O_2 puudulikkuse suhtes on tunduvalt suurem kui hingamiskeskuse närvirakkudel.

Mõjustusi saab hingamiskeskus ka kopsudes olevailt retseptoritelt, hingamis- ja skeletilihaste proprioretseptoritelt. Perioodiliselt vahelduva sisse- ja väljahingamise protsessis on tähtis koht kopsudest tulevate aferentsetel närviimpulssidel ning hingamislihaste proprioretseptorite ärritamisel tekkivatel impulssidel, mis uitnärvi vahendusel juhitakse hingamiskeskusesse. Selle tulemusel hakkavad sissehingamisel diafragmanärvi ja roietevaheliste närvide kaudu saabuma impulsid, mis pidurdavad sissehingamist ja stimuleerivad järgnevat väljahingamist.

Kehalisel tööl lihastelt saabuvald aferentsed impulsid suurendavad hingamiskeskuse aktiivsust, mille tagajärjel kasvab kopsude ventilatsioon ja intensiivistub gaasivahetus. Nendel impulssidel on tähtis osa ka südametegevuse stimuleerimisel.

Inimene saab teatud piirides tahtlikult hingamist muuta, hinge kinni hoida (apnoe) või hüperventileerida, see on seotud ajukoore talitlusega. Ajukoore talitlusega on seotud ka hingamistegevuse stardieelsed muutused.

Erituselundite talitus

Eritumise all mõistetakse organismis ainevahetuse käigus tekkivate lõpp-produktide (kusiaine, kreatiniin, soolad, CO_2 jm.) eemaldamist organismist. Põhilised eritusorganid on neerud, higinäärmed, kopsud ja seedetrakt.

Neerude põhiülesandeks on ainevahetusjääkide, vee ja liigsete mineraalsoolade eemaldamine organismist. Peale selle võtavad neerud osa happe-leelistasakaalu, osmootse rõhu püsivuse, organismi vee ja mineraalainete sisalduse regulatsioonist ja sünteesivad mõningaid regulaatoraineid (reniin).

Neerude struktuurseks ja funktsionaalseks ühikuks on neeruühik e. nefron, nende arv kokku mõlemas neerus on ligikaudu 2 miljonit. Iga nefron koosneb veresoonepääsmakesest, seda ümbritsevast kapslist, millest algavad neerutorukesed (esimese järgu vääniline toruke, liente ling, teise järgu vääniline toruke). Nefronis tekkinud uriin satub kogumistorude kaudu neerukarikatesse, neeruvaagnasse ja sealt kusejuhade kaudu kusepõide.

Neeru suubub neeruarter, mis jaguneb väiksemateks soonteks, kapillaaride võrk moodustabki veresoonepasmakese. Iga pasmakese juurde tuleva toomasoone valendik on suurem kui viimasoone oma, see tingibki pasmakese kapillaarides kõrge rõhu, mis on vajalik filtratsiooniks.

Uriini moodustumine. Esimeses faasis väljub filtratsiooni tulemusel pasmakese kapillaaridest esmasuriin, mis koguneb Bowmani kapsli õõnde. See sisaldab kõiki vereplasma koostises leiduvaid aineid peale valkude, seepärast on esmasuriini osmootne rõhk 30 - 35 mm Hg väiksem kui vereplasma osmootne rõhk. Filtratsiooni protsessi soodustab kõrge vererõhk, mis on pasmakeste kapillaarides 60 - 70 mm Hg. Inimesel moodustub ööpäevas ligikaudu 100 - 150 l esmasuriini.

Edasi läbib esmasuriin neerutorukeste ja Henle lingu süsteemi, siin toimub vee, glükoosi, aminohapete ja mõnede ionide tagasiimendumine ja lõppuriini teke. Kusejuhadesse tulev lõppuriin on palju kontsentreeritum ega sisalda normaalselt glükoosi. Ainevahetuse lõppproduktid - kusiaine, kreatiniin, sulfaadid jt. jäävad lõplikku uriini ja erituvad organismist. Uriinis leiduv keedusool resorbeerub NaCl defitsiidi puhul täielikult verre tagasi, mida suurem on aga NaCl liig, seda rohkem seda eritatakse organismist. Vee suure resorptsiooni tulemusel tekib ligikaudu 1,5 l lõplikku uriini. Ained, mis ei resorbeeru ning seetõttu organismist uriiniga eemaldatakse, on künniseta ained (kusiaine, kreatiniin jt.). Künnisaineteks, mis tulevad uriini, kui nende kontsentratsioon veres ületab teatud kindla taseme, on näiteks glükoos, keedusool, bikarbonaadid jt. Mõningaid aineid (kreatiniin, ammoniaak, mitmed ravimid jt.) viiakse otse läbi neerutorukeste uriini, kulutades selleks ATPst saadavat energiat. Sellist ainete eritamist nimetatakse sekretsiooniks.

Seega tekib lõppuriin nefronites filtratsiooni- ja resorptsioonimehhanismi teel: pasmakestes toimuva vere filtratsiooni tulemusel tekib kapsliõõnde valguvaba filtraat - esmasuriin, viimasest resorbeeritakse neerukanalite süsteemi läbimisel vajalik kogus kindlaid aineid.

Neerud reguleerivad uriiniga vett eritades ka organismi veesisaldust ja aitavad säilitada püsivat osmootset rõhku. Vereglükoosi kontsentratsiooni tõusul üle 170 mg% (näiteks süsivesikuterikas toit) hakkavad neerud eritama glükoosi ja tekib glükosuuria. Ka mineraalsoolade hulka reguleerivad neerud, eritades nende liia uriiniga. Uriiniga väljutatakse happelisi fosfaate, samal ajal katioone kui olulist aluseliste ainete reservi hoitakse organismis. Nii viisi hoitakse ära happeliste ainete kuhjumine ja atsidoosi teke. Aluseliste

ainete liia puhul veres eemaldatakse uriiniga rohkem aluselisi fosfaate ja vesinikkarbonaatioone.

Neerude talitlust reguleeritakse neurohumoraalsel teel. Sümpaatilise närvisüsteemi mõju tugevnemisel neeruveresooned ahenevad ja diurees langeb, kusepõielihase toonus langeb ja soodustatakse põie täitumist. Uriini eritumine võib järsult pidurduda näiteks valu puhul. Uriini hulga ja väljaviidavate soolade koguse regulatsioon toimub mitmete hormoonide vahendusel. Hüpopfüüsi tagasagara vasopressiin (ka antidiureetiline hormoon) stimuleerib vee resorptsiooni neerukanalites, vähendades seega diureesi. Veepuudusel, kui suureneb osmootne rõhk, produtseeritakse ADH-d rohkem ning uriini hulk väheneb ja osmootne rõhk normaliseerub. Kui seda ei toimu, tekib janu ja veevajadus rahuldatakse joogiga. Neerupealise koorehormoon aldosteroon suurendab naatriumi ja sellega ka vee resorptsiooni ja vähendab diureesi. Adrenaliini väikeste annuste toimel uriini hulk suureneb.

Kehalisel tööl satub verre hulk ainevahetusprodukte, nagu piimhape, süsihappegaas, fosforhape, kreatiniin jt., mis eemaldatakse organismist uriini ja higiga. Kuigi kehalisel tööel vererõhk tõuseb, võib neeruverevarusus seoses vere ümberpaiknemise ja neeruarterite ahenemisega väheneda. Sportlastel registreeritakse sageli pärast pingutusi diureesi vähenemine, selle tulemusel uriini kontsentratsioon kasvab ning suureneb erikaal. Kehaliste pingutuste sooritamisel suureneb kusiaine, kreatiniini, ammoniaagi, glükoosi, piimhappe jt. ainete ekskretsioon. Pärast kehalist pingutust võib sportlase uriinis leiduda ka valku (proteinuuria).

Higierituse põhifunktsiooniks on kehatemperatuuri regulatsioon. Sõltuvalt väliskeskkonna temperatuurist ja kehalisest tegevusest võib higi sekretsioon ööpäevas varieeruda 0,5 - 3 l piirides ja rohkem. Intensiivse kehalise töö ajal erituvad higiga ainevahetuse lõppproduktid (kusiaine, piimhape) ja mineraalsoolad.

Termoregulatsioon

Energia- ja ainevahetuse käigus toimub pidev soojuse teke ja selle andmine ümbritsevasse keskkonda naha ja kopsude kaudu ning uriini ja väljaheitega. Seetõttu sõltub kehatemperatuur nii soojuse moodustumisest kui soojuse äraandmisest ümbritsevasse keskkonda. Kaenlaaluses lohus mõõdetud kehatemperatuur on puhkeolekus normaalselt 36 - 37 °C, kõige kõrgem on nahatemperatuur kaelal, kõige madalam jalalabal, erinevused on seotud eelkõige kehapiirkondade verevarustuse iseärasustega.

Nahatemperatuuri langust põhjustavad keskkonna temperatuuri langus, tuul ja õhuniiskus. Kõrge õhutemperatuuri korral vähendab suur õhuniiskus soojuse äraandmist ja soodustab organismi ülekuumenemist. Püsisoojastel loomadel ja inimesel säilib konstantne kehatemperatuur tänu evolutsiooni käigus kujunenud tundlikele termoregulatsioonimehhanismidele.

Keemiline termoregulatsioon seisneb soojuse moodustumisega seotud oksüdatsiooniprotsesside regulatsioonis. Keskkonna temperatuuri tõus põhjustab inimesel reflektorset ainevahetusprotsesside intensiivsuse languse, mistõttu väheneb ka soojuse teke. Kuumas langeb ainevahetuse intensiivsus maksas ja teistes siseorganites. Välistemperatuuri langusel intensiivistuvad kiiresti oksüdatsiooniprotsessid, see on tihedalt seotud skeletilihaste tegevusega. Juba suhteliselt väike kehaline aktiivsus tõstab soojuse produktsiooni 20 - 25 % võrra. Soojuse produktsiooni tõstab oluliselt ka lihastevärin ning adrenaliini kontsentratsiooni tõus veres.

Füüsikaline termoregulatsioon on seotud protsessidega, mis mõjustavad soojuse äraandmist. Põhiline soojuse äraandmine toimub inimesel naha kaudu (70 - 80 %). See teostub soojusjuhtivuse, soojuskiirguse ja aurumise teel. Kui kehatemperatuur võrdsustub välistemperatuuriga, muutub higi aurumine põhiliseks võimaluseks soojus naha kaudu ära anda. Soojuse äraandmine kopsude kaudu toimub vee aurumisel alveoolide ja hingamisteede pinnalt ning väljahingatava õhu eelneva soojendamise tõttu. Kui õhk on 100 % veeaurudega küllastatud, higi ei auru ja soojuse äraandmine toimub soojusjuhtivuse kaudu. Seepärast talutaksegi kuivas õhus kõrgemat temperatuuri kui niiskes.

Soojuse produktsiooni ja äraandmise regulatsioon toimub neurohumoraalsel teel. Peamine termoregulatsioonikeskus paikneb hüpotalamuses, mis on tihedalt seotud paljude teiste närvikeskustega. Termoregulatsioonikeskust mõjustavad närviimpulsid naha- ja limaskestade ning siseelundite retseptoritelt. Kehatemperatuuri langusel peale ainevahetuse intensiivistumise skeletilihastes ja maksas ahenevad nahaveresooned, millega takistatakse soojuse äraandmist. Termoregulatsioonikeskusi mõjutavad ka läbivoolava vere temperatuur ja hormoonid. Kilpnäärme hormooni türoksiini toimel intensiivistuvad kudedes oksüdatsiooniprotsessid, millele kaasub soojuse produktsiooni suurenemine. Ka neerupealise säsihormooni adrenaliini mõjul suureneb soojuse teke. Efektiivse termoregulatsiooni ulatus on seotud väliskeskkonna temperatuuri kindlate piiridega.

Kehalise töö ajal suureneb nii soojuse moodustumine kui ka äraandmine. Kehatemperatuuri väike tõus (1 °)

tõstab kesknärvisüsteemi erutuvust, soodustab siseelundite talitlust ning aktiveerib kudedes oksüdatsioonireduktsiooniprotsesse, see aitab kaasa organismi kiiremale kohandumisele kehaliste pingutuste sooritamisel ning aitab vältida liigutusaparaadi vigastusi. Kehatemperatuuri tõus algab juba stardieelses seisundis ning tõuseb seda rohkem, mida intensiivsem ja kestva on töö ning mida kõrgem on välistemperatuur. Raskete sportlike pingutuste korral võib kehatemperatuur tõusta 38,5 - 39,0 °Cni. Kõrgemal kehatemperatuuril tekib kuumarabanduse oht. Seega peab arvestama treeningute ja võistluste korraldamisel peale õhutemperatuuri ka õhu niiskust. Organismi kohanemisel madala või kõrge välistemperatuuriga on tähtsal kohal karastumine.

Kesknärvisüsteemi füsioloogia

Kesknärvisüsteemi funktsioonide üldiseloomustus. Kesknärvisüsteemi funktsioone kindlustavaks põhiliseks rakuliseks elemendiks on neuron ehk närvirakk. Neuron on võimaline vastu võtta kindlaid signaale, säilitama neid mälus, reageerima neile, juhtima erutust, moodustama kontakte teiste neuronitega, retseptoritega, mitmesuguste organite rakkudega.

Neuron koosneb kehast e. soomast ning närvijätketest. Viimaste hulgas eristatakse dendriite, mis toovad signaalid närviimpulsside näol soomale, ja aksonit, mida mööda lähetatakse närviimpulsid soomast teistele rakkudele. Kontakti eri neuronite närvijätkete vahel, samuti närvijätkete ja teiste rakkude vahel kindlustavad sünapsid. Funktsiooni põhjal jagunevad neuronid kolme gruppi: 1) aferentsed neuronid, mis on seotud informatsiooni vastuvõtmisega meele-elunditest ja organismis paiknevatest retseptoritest, 2) eferentsed neuronid, mille vahendusel saadetakse käivitavad, pidurdavad või korrigeerivad närviimpulsid mitmesugustele organitele, 3) vaheneuronid, mis kindlustavad kontakti mitmete neuronite vahel, seehulgas ühenduse aferentsete ja eferentsete neuronite vahel.

Seos perifeersete organite ja retseptorite ning kesknärvisüsteemi vahel kindlustavad perifeersed närvid, mis koosnevad suure hulga neuronite närvijätketest. Neuronid ise paiknevad kesknärvisüsteemis, moodustades selle hallaine. Kesknärvisüsteemis olev valgeaine on moodustunud ühendusteedest eri tasemel olevate neuronite vahel (koosneb samuti neuronite närvijätketest). Perifeersed närvid jagunevad somaatilis-

teks (kindlustavad seose lihaskonnaga ja meeleorganiatega) ning vegetatiivseteks, mille vahendusel reguleeritakse siseorganite, sisesekretoorsete näärmete talitlust ning organite verevarustust. Vegetatiivsed närvid jagunevad sümpaatilisteks ja parasümpaatilisteks. Eri-nevalt somaatilistest närvidest ei ulatu vegetatiivsete närvide koosseisus olevad närvijätked vahetult innerveeritava organini, vaid lülituvad ümber uuele neuronile, mis paikneb vegetatiivsetes ganglionides. Sümpaatiliste närvide põhineuronid paiknevad seljaajus ja ganglionid seljaaju kõrval sümpaatilise piiriväädina. Parasümpaatilised närvid põhineuronid on piklikajus ja seljaaju ristluupiirkonnas, ganglionid innerveeritava organi vahetus läheduses. Vegetatiivsete närvikeskuste tegevust koordineerivad vaheajus (hüpotalamuses) asetsevad neuronid.

Mediaatoraineks somaatiliste ja parasümpaatiliste närvide sünapssides on atsetüülkoliin, sümpaatiliste närvide sünapssides noradrenaliin.

Põhiliseks funktsionaalseks aktiks kesknärvisüsteemi tegevuses on refleks - reaktsioon mingile ärritusele kesknärvisüsteemi vahendusel. Refleks teostub refleksikaare kaudu, mille koostisosadeks on ärritust vastu võttev retseptor, aferentne närvitee, refleksikeskus, eferentne närvitee, täidesaatev organ. Refleksikeskus koosneb aferentsest neuronist (sellega lõpeb aferentne närvitee) ja eferentsest neuronist (sellest algab eferentne närvitee), mille vahele võivad jääda üks või mitu vaheneuronit. Kuna sünapsside kaudu saab erutus kulgeda ainult ühes suunas, siis ka refleksikaares kulgeb erutus ühesuunaliselt. Refleksid jagunevad kaasasündinud e. tingimatuteks refleksideks ja individuaalselt omandatud e. tingitud refleksideks.

Neuronite kogum, mis on seotud kindla funktsiooni juhtimisega, moodustab närvikeskuse. Närvikeskuses läbib erutusprotsess paljusid sünapse. Seetõttu aeglustub erutuse kulg närvikeskusi läbides. Närvikeskuses võib mitu närviärritust summeeruda üheks tugevaks vastuseks (erutuse summatsioon), ärrituste rütm ja tugevus võib transformeeruda (rida sagedasi ja nõrku ärritusi võib muunduda harvemateks ja tugevamateks ärritusteks ja vastupidi). Närvikeskuses võib erutus kanduda ühelt neuronilt teisele (irradiatsioon). Närvikeskustes ilmneb järelmõjunähtus - erutuse ja refleksikeskuste kestus võib olla suurem kui ärrituse kestus. Närvikeskuste omadused määravad maksimaalse arvu ärritusi, mida keskus on suuteline vastu võtma ja edastama reflektorse vastusena. Seda talitlussagedust tähistatakse mõistega labiilsus. Närvikeskustele on omane väsimine, mis kajastub erutuvuse ja labiilsuse languses kuni täieliku reageerimatuseni.

Pidurdus on aktiivne närviprotsess, mille kutsub esile erutus ja mis avaldub teise erutuse mahasurumises. Pidurdus on koordineerimise põhivahend kesknärvisüsteemis. Eristatakse tsentraalset pidurdust (kõrgemad närvikeskused pidurdavad madalamate talitlust), perifeerset e. ülepiirilist pidurdust (põhjustab liiga suur ärritussagedus või liiga suur erutuse pinge neuronis või kurnavalt kestev neuroni aktiivsus) ja koordineerimiselist pidurdust mitmesugustes vormides (viimase avaldusteks on vastastikune induktsioon (ühe neuroni erutus indutseerib teises pidurduse või vastupidi, ühe neuroni pidurdus viib erutuse tekkele teises neuronis), järgnev induktsioon (samal neuronis järgneb erutusele pidurdus või vastupidi, pidurdusele järgneb erutus), retsiprookset innervatsiooni. Viimane on tähtsaks vahendiks liigutuskordineerimises. Selle kaudu saavutatakse lihasantagonistide ning eri jässete kooskõlastatud tegevus: painutajate tegevust juhtivas närvikeskuses tekkiv erutus indutseerib pidurduse antagonistlikult toimivate sirutajalihaste tegevust juhtivas närvikeskuses. Samal ajal indutseeritakse muutused ka vastasjäset juhtivates närvikeskustes: pidurdus painutajaid innerveerivas keskuses ja erutus sirutajaid innerveerivas keskuses.

Tekkemehhanismilt jaguneb pidurdus presünaptiliseks (närvijätke juurde jõudva närvitühenduse vahendusel blokeeritakse närvimpulsside jõudmine sünapsinile) ja postsünaptiliseks (kutsutakse esile pidurdavate sünapside kaudu, milles tekkiv pidurdav mediaator välis- tab erutuse tekke neuronis).

Meeleelundite ja paljude organismisüsteemide retseptorite poolt vastu võetav ärrituste hulk ületab võimaluse vastata kõigile refleksiga. Pealegi pole see otsustav, pidades silmas konkreetseid elutalitluste vajadusi. Seega nagu toimiks võitlus aferentsete ärrituste vahel õiguse eest eferentsele lõppteale. Selle võitluse käigus on määrav dominandi printsiip. Sõltuvalt elutalitluste vajadustest kujuneb dominantne erutuskolle ühes närvikeskuses, mis juhivad antud momendil kõige olulisemat talitluslikku akti. Dominantne erutuskolle pidurdab teiste närvikeskuste talitlust ning tugevneb kõigi teiste ärrituste arvel, mis sellal saavad kesk-närvisüsteemi.

Kesknärvisüsteemi jaotus. Kesknärvisüsteemi põhiosadeks on seljaaju, piklikaju, keskaju, väikeaju, vaheaju, koorealused tuumad ja suuraju koor.

Seljaajast väljuvad perifeersed närvid innerveerimaks segmentide kaupa (igale seljaaju segmentile vastab kindel kehapiirkond) kogu keha. Hallaine paikneb nelja sarvena seljaaju keskel. Eesmistest sarvedes paik-

nevad eferentsed neuronid. Siin asetsevatest motoneuronitest algavad eferentsed närviteed lihaste juurde. Tagumistes sarvedes paiknevad aferentsed neuronid, kuhu suubuvad aferentsed närvid. Seljaaju juhib mitmeid primitiivseid reflekse. Põhiosa tema tegevusest on kõrgematest ajuosadest tulevate närvimõjude (juhteteed kulgevad valgeaines) edastamine perifeersetele organitele.

Piklikajus on rida olulisi närvikeskusi. Tähtsaim on hingamiskeskus ja *n. vagus* tsentraalne tuum. *N. vagus* (parasümpaatiline närv) kaudu juhitakse paljude siseorganite talitlust. Siin paikneb ka organite verevarustust reguleeriv vasomotoorne keskus. Piklikaju tasakaalustab omavahel sirutaja- ja painutajalihasete toonuse. Tema vahendusel reguleeritakse lihastoonuse muutusi sõltuvalt keha- ja peasendi muutustest. Ärritused vastavate reflekside esilekutsumiseks tulevad tasakaaluorganist (labürindi refleksid) ja kaelalihaste proprioretseptoritest.

Keskaju täiustab kontrolli lihastoonuse üle ning juhib keha normaalse asendi säilitamist ja taastamist. Keskaju vahendusel teostuvad orienteerumisrefleksid - reageerimine ootamatule ärritajale senise tegevuse ajutise katkestamisega ning teabe hankimisega kõigi meelelundide poolt (eriti nägemis- ja kuulmisorgani abil) selgitamaks uudse ärrituse informatiivset sisu.

Retikulaarformatsioon algab piklikajust ja ulatub keskajusse. Tema funktsiooniks on üldise aktiivsustaseme (küllaldase erutuvuse ja labiilsuse) kindlustamine kogu kesknärvisüsteemis. Aferentsetest närviimpulssidest osa jõuab retikulaarformatsioonile, määrates selle aktiivsuse. Retikulaarformatsiooni aktiveerimine kajastub temast algavas ja üle kogu kesknärvisüsteemi levivas erutuslaines, mille tulemusel suureneb närvikeskuste erutus ja labiilsus.

Väikeajus paikneb mitu olulist närvikeskust. Tähtis funktsioon on sellel ajuosal liigutuskoordinatsiooni kindlustamisel.

Vaheaju koosneb talamusest (nägemiskühmud) ja hüpotalamusest (nägemiskühmudealune piirkond). Talamusel on tähtis koht meelelunditelt tuleneva informatsiooni edastamisel ajukoorele. Osa tema neuronitest avaldab ajukoorele aktiveerivat toimet samaselt retikulaarformatsiooniga. Hüpotalamus kui kõrgeim vegetatiivne keskus koordineerib siseorganite tegevust ühtseteks elutalitlusaktideks. Osa hüpotalamuse rakke on võimelised neurosekretsiooniks. Nende kaudu osaleb hüpotalamus sisesekretoorseste süsteemide talitluse juhtimises. Hüpotalamusel on tähtis koht homöostaatilises regulatsioonis ja adaptatsiooniprotsessides üldse.

Suuraju koor on evolutsiooniliselt kõige noorem kesknärvisüsteemi osa. Ajukoore hallaine sisaldab 13 - 18 miljardit neuronit. Ajukoore jõuab informatsioon kõigist retseptoritest, ajukoor on võimeline juhtima kõiki elutalitlusakte. Tahteliste liigutuste sooritamine saab alguse ajukoorest. Ajukoore rakud on võimelised omavahel seostuma ja seega kujundama uusi koordineatsioonilisi seoseid. Ajutiste närviseoste teke ajukoore rakkude vahel on tingitud reflekside moodustumise aluseks. Ajukoor on kõrgema närvitalitluse keskuks.

Kõrgem närvitalitus

Kõrgema närvitalitluse põhiaktiks on tingitud refleks. Nagu on selgunud I. Pavlovi pikaajalisest viljakast uurimistööst, kujuneb tingitud refleks seni indifferentse ärritaja paljukordsel seostumisel mingi tingimatu refleksi teostamisega. Sel juhul omandab indifferentne ärritaja signaalse tähenduse, muutub tingitud ärritajaks ja kutsub esile vastava tingimatu refleksi. Aluseks on ajutise närviseose moodustumine neuronite vahel, mis erutuvad indifferentse ärritaja mõjumisel ja tingimatu refleksi teostamisel.

Tingitud refleksi kujunemise tingimusteks on tingitud ärritaja eelnevine tingimatule refleksile, optimaalne kesknärvisüsteemi erutus üldse, eriti aga optimaalne erutus tingimatut refleksi juhtivates närvikeskustes. Tingitud ärritajateks võivad olla nii I signaalsüsteemi ärritajad (kõigi meeleelundite ja organismisiseste retseptoritega vastuvõetud ärritajad) kui ka II signaalsüsteemi ärritajad. II signaalsüsteemi ärritajateks on sõnad kuulduna, loetuna, öelduna. Sõna on universaalne ärritaja, suutes asendada kõiki I signaalsüsteemi ärritajaid. Sõnale on omane üldistav iseloom, mistõttu suureneb sõna tähtsus info edastamisel, ka põlvkonnalt põlvkonnale (noore põlvkonna ühiskondlik ettevalmistus), ning info üldistavaks töötluseks (loob võimaluse mõtlemiseks alates selle primitiivsest vormidest kuni loomingulise tegevuseni).

Pidurdusprotsessid on kõrgemas närvitalitluses sama vajalikud kui kesknärvisüsteemi talitluses üldse. Eristatakse tingimatut ja tingitud pidurdust. Tingimatu (kaasasündinud) pidurdus esineb välise ja ülepiirilise pidurdusena. Väline pidurdus tekib tugeva ärrituse mõjul ning avaldub pidurduse laialdase levikuna üle kogu ajukoore, vabastades seega kõrgemad närvikeskused ümberlülitumiseks uudses olukorras otstarbekale tegevusele.

sele. Ülepiiriline pidurdus on pessimaalne pidurdus ajukoorerakkudes. Seda põhjustab neuronite funktsionaalse potentsiaali ulatuslik langus seoses intensiivse või kestva talitlusega. Tingitud (individuaalselt kujundatud) pidurdus avaldub mitmeti. Kustumispidurdus tekib tingitud refleksi kasutamatusel või siis, kui tingitud ärritajale mitu korda ei järgne tingitud refleksi (tingitud ärritajat ei kinnitata). Kustumispidurdus kaastub selles, et tingitud ärritaja kaotab oma signaalse tähenduse, ei kutsu enam esile tingimatule refleksile omaseid muutusi. Hilinemispidurdus tekib siis, kui tingitud ärritajale ei järgne tingitud refleks kohe, vaid kindla ajaintervalli järel. Sel juhul tekib esmalt pidurdus, mis ajaintervalli möödumisel asendub erutusega. Diferentseerimispidurdus on abinõuks eristama signaalset tähtsust omavat ärritajat teistest temaga sarnastest ärritajatest. Diferentseerimispidurduse kujunemisel tekib erutus üksnes signaalse tähtsusega ärritajale, teised ärritajad põhjustavad pidurduse. Tingitud piduriks on täiendav ärritaja, mille lisamine tingitud ärritajale teadustab tingitud refleksi (kinnituse) mittejärgnemist. Sellise kombinatsiooni puhul ei vallaanda tingitud ärritaja tingitud refleksi.

Kõrgema närvitalitluse tüübid. Individuaalseid erinevusi kõrgemas närvitalitluses saab iseloomustada erutus- ja pidurdusprotsesside jõu, liikuvuse ja tasakaalu põhjal. Erutusprotsesside jõu poolest on eristatavad tugev ja nõrk tüüp. Tugev tüüp on jaotatav liikuvaks ja inertseks tüübiks. Tugev liikuv tüüp omakorda jaguneb tasakaalustatud ja tasakaalustamata tüübiks.

Süsteemsus elutalitlusaktides. Kujundatud tingitud refleksid süstematiseeruvad omavahel, moodustades komplekse kindlate elutalitlusaktide teostamiseks. Tingitud reflekside süsteemi üheks põhivormiks on dünaamiline stereotüüp. See määrab kindla ajalise järgnevuse ja omavahelise vahekorra mitmesuguste tingitud reflekside vahel. Muutuvates elusituatsioonides ei ole alati otstarbekas ühesuguse dünaamilise stereotüübi kasutamine. Käitumise otstarbekuse tagab ekstrapolatsioonivõime: olukorra muutudes on võimalik modifitseerida dünaamilisi stereotüüpe, projekteerida otstarbekaid tegevuskavu ning eeldades situatsiooni muutusi, kujundada kohe (ilma eelneva harjutamiseta) uusi tingitud reflekse.

Ulatuslike elutalitlusaktide teostamise, samuti sihipärase käitumise aluseks on funktsionaalsete süsteemide formeerumine. See koosneb eesmärgi püstitamisest, selle saavutamiseks vajaliku programmi koostamisest, viimase realiseerumisest ning edasise tegevuse korrigeerimisest tulenevalt tegevuse senisest tulemusest. Viimase suhtes on tähtsal kohal tegevuse aktseptsioon.

tor, mis kujuneb eesmärgi püstitamisel kajastamaks eeldatavat infot, mida saadakse sihtülesande täitmisel. Tegevuse aktseptori kõrvutamine tegelikult saabuva tagasisidestuva infoga määrabki, kas lugeda eesmärk saavutatuks ning funktsionaalne süsteem oma ülesande täitnuks. Sel juhul tekivad positiivsed emotsioonid rahuldustundena. Kui tagasisidestav info erineb tegevuse aktseptorist, siis korrigeeritakse tegevusprogrammi. Sõltuvalt erinevuse ulatusest võivad tekkida rahuldamatustundega seostuvad negatiivsed emotsioonid.

Liigutuste juhtimine. Tahtelised liigutused algavad ajukoore motoorse tsooni püramiidrakkude erutusest. Nende akson (püramiidtrakt) juhib närviimpulsid seljaaju motoneuronitele, mis lähetavad impulsid edasi lihastele (iga motoneuron oma motoorsesse ühikusse kuuluvatele lihaskiududele). Varem väljakujunenud dünaamilised stereotüübid, modifitseerituna ekstrapolatsiooni teel, määravad püramiidrakkudevahelised seosed tegevusse lülitamisel. Liigutuste teostamine eeldab koostööd paljude lihaste vahel. Otstarbekas vahekorras peab olema antagonistlike lihasrühmade talitlus. Suuresti tagatakse see seljaaju tasemel retsiprookse regulatsiooniaga. Vajalikud on keha kui terviku asendi säilitamine või muutmine, otstarbekas keha eri osade asend. Kõige selle kindlustamiseks tulevad ajukoore püramiidtraktile appi kõik ajuosad, mis osalevad liigutuskoordinaatsioonis ja lihastoonuse regulatsioonis. Nende aktiivsus kajastub täiendavas närviimpulsside voolus seljaaju motoneuronitele. Kuna see toimub lisaks püramiidtrakti kaudu antavale mõjustusele, siis summeeritakse need mõjustused mõistesse lihastalitluse regulatsioon ekstrapüramiidtrakti kaudu. Igasugune lihaspinge muutus, samuti pinge muutus kõõlustes ja liigessidemetes ärritab proprio-retseptoreid, mille kaudu saadetakse kesknärvisüsteemi tagasisidestuv info liigutusülesande täitmise käigust. Vajadusel kasutatakse seda infot koos nägemis- ja teiste analüsaatorite teabega liigutusülesande täitmise korrigeerimiseks.

Kehaliste harjutuste ja spordialade füsioloogiline klassifikatsioon

Spordialade füsioloogiline iseloomustamine on kompliceeritud eelkõige nende arvukuse tõttu. Seepärast jaotatakse kehalised harjutused ja spordialad teatud kindlate tunnusjoonte alusel rühmadesse. Selline kehaliste harjutuste klassifitseerimine on suhteline: kui ühe tunnuse järgi kuulub spordiala ühte, siis mõne tei-

se tunnuse järgi hoopis teise rühma. Üldistades erinevate autorite töid, esitatakse kehaliste harjutuste ja spordialade alljärgnev klassifikatsioon.

1. Dünaamilised ja staatilised harjutused. Klassifitseerimise aluseks on lihaskontraktsiooni iseloom. Dünaamiline töö on seotud keha või kehaosade liikumisega, sellel tegevusel aluseks on aukuksotooniline lihaskontraktsioon - koos lihase pikkuse muutumisega muutub ka lihaskontraktsioon. Dünaamiline tegevus on iseloomulik nt. jooksmisel, ujumisel, aerutamisel. Staatiline tegevus on seotud kehaasendi või kehaosade asendi hoidmisega, siin on tegemist põhiliselt isomeetrilise lihaskontraktsiooniga, s.o. lihase muutumatu pikkuse juures muutub lihase pinget. Staatiline pingutus on iseloomulik eelkõige sellistel spordialadel, nagu tõstesport, maadlus, sportvõimlemine jne.

2. Tsüklilised, atsüklilised ja segatüüpi kehalised harjutused. Kehaliste harjutuste rühmitamise aluseks on liigutuste struktuur. Tsüklilisel tegevusel teostatakse liigutused kindlas järjekorras, s.o. tsüklitena ilma puhkepausideta (jooks, ujumine, käik jne.). Atsüklilisel tegevusel ei ole liigutuste sooritamise järjekord kindlapiirilisel määral, puudub liigutuste tsüklilisus, üksikute harjutuste vahel võib olla pause. Selline tegevus esineb sportmängudes, maadluses, poksis jt. aladel. Kui kehaline tegevus koosneb tsüklilisest ja atsüklilisest tegevusest (hoojooksuga hüpped), räägitakse segatüüpi kehalistest harjutustest.

Atsüklilised kehalised harjutused jagunevad jõu- ja kiirusjõualadeks. Jõuharjutuste puhul oleneb maksimaalne jõud massi maksimumist, kiirendus on oluline liigutuse algatamiseks (tõstesport). Kiirusjõuharjutuste puhul avaldub maksimaalne jõud eelkõige kiirenduse maksimumis, kuna mass on muutumatu suurus (kehakaal, heiteriista raskus). Kiirusjõualade hulka kuuluvad heidetõuked ning hüpped.

3. Standardised ja mittestandardised kehalised harjutused. Kui kehalise tegevuse ajal on väliskeskkonna tingimused suhteliselt ühesugused, räägitakse standardsetest harjutustest. Standardse tegevuse näiteks on jooksudisantsid spordihallis või staadionil, ujumisalad basseinis jne. Mittestandardsete kehaliste harjutuste puhul võivad välistingimused kiiresti ja oluliselt muududa. Nii muutub olukord sportmängudes, maadluses, poksis kiiresti olenevalt vastaste, kaasmängijate, kohtunike tegevusest. Ka võistlustrassi profiili ja meteoroloogiliste tingimuste muutumisel on tegemist mittestandardsete kehaliste pingutustega (krossid, mürdamasuusatamine, slaalom jt.).

4. Kehalisest tööst osavõtva lihassmassi alusel jaotatakse lihastöö lokaalseks, regionaalseks ja globaalseks. Lokaalsel lihastööl lülitub tegevusse alla $1/3$ lihassmassist (male, laskesport), regionaarne lihastöö on seotud $1/2 - 1/3$ lihassmassiga (motosport, ratsutamine). Enamikul spordialadel on lihassmassi haaratuse alusel (üle $1/2$) tegemist globaalse lihastööga.

5. Kehalised harjutused jaotatakse organismi funktsioonide mobiliseerimise alusel mõõdukateks, keskmisteks, kergeteks, rasketeks ja väga rasketeks e. kurnavateks. Rühmitamise aluseks on sagedamini tööaegsed muutused löögisageduses, hapniku tarbimises, vere piimhappesisalduses.

6. Vastavalt kehaliste harjutuste füsioloogilisele mõjule tuntakse kiirus-, jõu-, vastupidavus-, osavus-, painduvus- ja koordineerimisharjutusi. Spordipraktikas kasutatakse sageli harjutuste kombinatsioone, nagu kiirusjõu-, kiirusvastupidavus- ja jõuvastupidavusharjutused. Viimasel ajal on levinud kehaliste harjutuste jaotamine vastavalt aeroobse ja anaeroobse võimekuse arendamisele. Aeroobsete harjutuste alajaotuste aluseks on O_2 tarbimise protsent O_2 -lae suhtes (50 - 100 %), anaeroobseid harjutusi jaotatakse aga töö kestuse alusel (10 - 120 s).

7. Kehaliste harjutuste rühmitamine vastavalt O_2 tarbimisele hapnikulae suhtes (%). Maksimaalsete pingutustega on tegemist siis, kui tööil hapniku tarbimine on võrdne maksimaalse hapnikutarbimisega (näiv püsitase). Sellist lihastööd on võimalik sooritada 6 - 8 min. Submaksimaalsetel kehalistel harjutustel on O_2 tarbimine O_2 -laest madalam, supramaksimaalsetel harjutustel on O_2 -vajadus hapniku tarbimise maksimumist kõrgem (anaeroobne töö). Supramaksimaalsete harjutuste sooritamise kestus on 1 - 2 min, submaksimaalsel tööil oleneb see koormusest. Näiteks suudavad sportlased jätkata tööd 70 - 80 % hapnikulaest 1 - 1,5 tundi ja rohkem.

8. Kehaliste harjutuste rühmitamine sooritatava töö võimsuse alusel. Igasugusel tsüklilisel tegevusel oleneb töö sooritamise kestus töö võimsusest: mida väiksem on töö võimsus, seda kauem suudetakse tööd sooritada. Nimetatud seos tuleb eriti ilmsiks maailmarekordide kõverate (kiirusaeg) analüüsis, näiteks jooksudistantsidel, ujumisaladel ja uisutamisdistantsidel. Kasutades jooksudistantside puhul logaritmiskaalat, jaotas kuulus spordifüsioloog V. Farfel juba 1939. a. tsüklilised harjutused võimsuse alusel 4 tsooni. Igal võimsuse tsoonil on omad kindlad füsioloogilised tunnused, mis oluliselt erinevad teiste tsoonide omadest. Kehaliste harjutuste rühmitamise aluseks on harjutuste sooritamise suurim kestus:

a) maksimaalse võimsusega kehalisi harjutusi suudetakse sooritada 10 - 20 (30) s, spordialadest kuuluvad siia jooksualad 60 - 200 m, ujumine 25 - 50 m, tre-

kisõit 100 - 200 m;

b) submaksimaalse võimsusega kehalise töö kestus on 20 - 30 s kuni 3 - 5 min, spordialade esindajad on jooksualad 400 - 1500 m, ujumine 100 - 400 m jne;

c) suure võimsusega kehaliste harjutuste kestus ulatub 3 - 5 min kuni 30 - 40 minutini, selle rühma spordialade hulka kuuluvad jooksualad 5000 - 10 000 m, murdmaasuusatamine 5 - 10 km, ujumine 1500 m jne;

d) mõõduka võimsusega kehalist tööd on võimalik sooritada 40 minutit ja rohkem, siis rühma kuuluvad ka kõik maratonialad.

9. Vahelduva võimsusega kehalistel harjutustel muutub tegevuse intensiivsus distantsi läbimisel. Vahelduva e. muutuva intensiivsusega on tegemist nii atsüklilisel kui ka tsüklilisel tegevusel. Füsioloogiliste funktsioonide (südame-vereringe-, hingamissüsteemi talitus, energia-, ainevahetus) talitus on ökonoomsem ühesuguse, muutumatu liikumiskiiruse puhul, võrreldes vahelduva intensiivsusega tegevusega.

Erineva võimsusega tsüklilise lihastegevuse füsioloogiline iseloomustus

Maksimaalse võimsusega lihastööl vabaneb põhiline osa energiast anaeroobsel teel, resünteesides ATP kreatiinfosfaadi arvel, kuna 10 - 30 s kestel hingamine ja südamere-soonkonna talitus ei jõua intensiivistuda vajalikul määral. Maksimaalsetel koormustel ei saavuta hingamisaparaadi talitluse näitajad ja südame löögisagedus maksimaalseid väärtusi. Organismi sisekeskkonna nihked on mõõdukad, tekkiv hapnikuvõlg ulatub 4 - 8 liitrit. Maksimaalse võimsusega tööl tegutsevad närvisüsteemi aferentne ja eferentne lüli maksimaalse pingega, see etendab suurt osa väsimuse tekkes. Saavutusvõime on seotud anaeroobse töö võime tasemega, närvi-lihassüsteemi funktsiooniga ja kesknärvisüsteemi talitlusega. Suurt tähtsust omab kiiruse ja kiirusjõu arendamine.

Submaksimaalse võimsusega kehalistel pingutustel kasvab bioenergeetikas anaeroobse glükogenolüüsi mehhanismi kasutamise maksimum, lisandub aeroobse ainevahetuse osa. Viimast tuleb arvestada lihastööl, mille kestus on 2 - 5 minutit. Seoses anaeroobse glükolüüsiga tekivad organismi sisekeskkonna ulatuslikud nihked, nii võib laktaadisaldus ületada 200 mg/l ja pH langeda alla 7,0, hapnikuvõlg saavutab maksimaalväärtused (20 - 24 l). Submaksimaalse võimsusega kehalisel tööl hingamisaparaadi ja südame-veresoonkonna talitus intensii-

vistub maksimaalsete näitudeni. Sportlikku saavutusvõimet määratlevad tegurid on lähedased maksimaalse võimsuse kehaliste pingutuste võimekuse faktoritele, kusjuures tuleb rõhutada anaeroobse glükolüütilise töö- võime osatähtsust.

Suure võimsusega töö on võimalik hingamist ja vereringet mobiliseerida vajalikul määral. Seepärast täheldatakse hingamisaparaadi ja südame-vereringesüsteemi talitluses maksimaalnäite. Suure võimsusega kehalistel pingutustel võib tekkida näiv püsitase, kuna hapnikuvajadus osutub suuremaks hapnikulaest. Bioenergeetikas on ATP resünteetimehhanismidest suurima osatähtsusega oksüdatiivne fosforüülimine, seega on aeroobne töövõime üks peamistest saavutusvõimet määratlevatest faktoritest. Suure võimsusega kehalistel pingutustel on tähtsal kohal veel sportlase anaeroobne töövõime, närvi-lihasaparaadi talitus ning higinäärmete funktsioon. Higiga eraldub osa piimhappest ja hoitakse ära organismi ülekuumenemine. Seoses kestustöö sooritamisega (5 - 40 min) on hästitreinitud sportlasel nii hingamissüsteemi kui südame-veresoonkonna funktsionaalsed näitajad kõrged.

Mõõduka võimsusega kehalistel pingutustel tekib tõeline püsiseisund, töö suhteliselt madala intensiivsuse tõttu suudetakse hapnikuvajadust rahuldada ja O_2 -võla väärtused ei ole märkimisväärsed (4 - 6 l). Piimhappe kuhjumine võib puududa, vere happesus ja gaaside koostis on normi piires. Süsivesikute ulatuslikul kasutamisel lisandub rasvade utilisatsioon. Sellele osutab madal vere glükoosi- ja laktaaditase ning hingamiskoeffitsiendi langus 0,7ni. Süsivesikute hulga järsk vähenemine veres (hüpoglükeemia) mõjub negatiivselt närvirakkude talitlusele, see võib saada võistluse katkestamise põhjuseks. Hüpoglükeemilist seisundit iseloomustab subjektiivselt väsimus-, janu- ja näljatunne, lihastoonus langeb, mõnikord võib tekkida minestus. Sellise seisundi kujunemist väldib ja aitab ületada õige toitumine enne starti ja distantsil. Mõõduka intensiivsuse puhul jäävad südame- ja vereringetalitluse näitajad maha maksimaalväärtustest, O_2 tarbimine võib tööl ulatuda 80 - 90 %-ni hapnikulae väärtustest. Kestval tööl tekkev tugev higieritus põhjustab ulatusliku vedeliku ja soolade kao. Seepärast on kasutatavates jõujookides peale vitamiinide ja süsivesikute ka sooli.

Saavutusvõimet määravate tegurite seas on tähtsamal kohal aeroobne töövõime, organismi glükogeenivarude ulatus, termoregulatsioonimehhanismide, eriti higinäärmete talitus ning neerupealiste funktsioon. Neerupealiste talitluse häirumine mõõduka võimsusega tööl võib olla üheks väsimust soodustavaks teguriks.

Sportliku saavutusvõime füsioloogilised alused

Sõltuvalt pingutuse iseloomust, eelkõige tema võimsusest, varieerub ATP resünteesimehhanism. Viimased erinevad üksteisest kiiruse, energieetilise ökonoomsuse ja mahu poolest. Kõige kiiremaks ATP resünteesi teeks on kreatiinfosforhappe (KP) lagunemisel vabaneva energia kasutamine ja kõige aeglasemaks oksüdatiivne fosforüülimine. R. Margaria arvutuste kohaselt võimaldab kreatiinfosforhappemehhanism arendada maksimaalset jooksu-kiirust ~ 13 m/s, glükogenolüüs (Gly) ~ 7 m/s, oksüdatiivne fosforüülimine (OF) ~ 5 m/s. Sealjuures piirdub vastava resünteesimehhanismi ajaline kasutatavus (maht) maksimaalintensiivsusel KP puhul 7 - 10 s-ga, glükogenolüüsil 1 - 2 minutiga. Oksüdatiivse fosforüülimise maht on madalamatel intensiivsustel praktiliselt piiramatult, maksimaalset OF taset ($100\% \nabla O_2 \text{ max}$) sündab treenitud sportlane säilitada ~ 10 min. Reaalselt on organismis peaaegu alati tegemist nimetatud mehhanismide paralleelse kasutamisega kindlas vahekorras.

Maksimaalse võimsusega pingutused kestavad 10 - 20 s, mille jooksul vereringlus ja O_2 tarbimine ei jõua oluliselt intensiivistuda. Selle tagajärjel jääb 95 - 97 % hapnikuvajadusest, mis ulatub kuhi 40 l/min, töö ajal katmata. O_2 -võla suurus (7 - 14 l) ja piimhappe kontsentratsioon veres (8 - 12 mmol/l) ei küüni oma maksimaalväärtuseni. Põhilised saavutusvõimet määravad tegurid:

- 1) KP-mehhanismi maht,
- 2) närvi-lihasaparaadi labiilsus,
- 3) kesknärvisüsteemi funktsionaalne stabiilsus,
- 4) lihaskontraktsioonide võimsus ja arendatavate jõudude biomehaanilise rakenduse efektiivsus.

Submaksimaalse võimsusega töö (kestus 30 s - 5 min) iseärasuseks on ATP resünteesi ümberlülitamine KP-mehhanismilt glükogenolüüsile ja oksüdatiivse fosforüülimise osakaalu tõus koos töö kestuse pikenemisega (Gly ja OF suhe 1500 m jooksul kestusega 3.30 - 4,00 min on ligikaudu 50 : 50. Lühematel distantsidel prevaleerib energetikas Gly, pikematel OF. Glükogenolüüsi maksimaalset taset peegeldavad piimhappe kontsentratsiooni väärtused veres 24 - 27 mmol/l, pH langus tunduvalt alla 7,0 ja 20 liitrini küündiv O_2 -võlg. Happeliste laguproduktide kuhjumine anaeroobsete protsesside prevaleerimisel lihases on olulisim tegur, mis piiritleb saavutusvõimet submaksimaalse võimsuse tsoonis.

Suure võimsusega töö (kestus 5 - 40 min ja rohkem) mobiliseeritakse vereringe ja hingamisaparaat täielikult. O_2 -vajadus ületab $\nabla O_2 \text{ max}$ taseme, mistõttu O_2 -võla teke

on mõõdapääsmatu. Glükogenolüüsi küllaltki kõrget taset sellisel tööil peegeldab 8 - 15 mmol/l ulatuv piimhappe hulk veres. Suur tähtsus töövõime säilitamise seisukohalt on laktaadi (La) eliminatsioonil. Piimhappe väljaviimine töötavast lihastest on seda intensiivsem, mida madalamal suudetakse hoida ta hulk veres lihasega võrreldes. La kasutatakse OF substraadina vähemaktiivsetes ja tööst mitteosavõtvates lihastes ja müokardis, metaboliiseeritakse maksas ja viiakse organismist välja neerude ja higinäärmete kaudu. pH säilitamises on suur tähtsus puhversüsteemide võimsusel ja mahul.

Mööduka võimsusega töö (kestus 1 - 2 ja rohkem tundi) iseärasuseks on tõelise püsiseisundi (*steady state*) saavutamise võimalikkus, s.t. O_2 tarbimise vastavus O_2 vajadusele. Tegelikult on tegemist liikuva tasakaaluga, sest tööil arendatav võimsus ei ole püsiv (stardi- ja finišikiirendus, spurt, rajaprofiili muutus jne.). Anaeroobne komponent lihasenergeetikas möödukal kestvustööil saab olla rakendatud sedavõrd, kui La eliminatsioon tasakaalustab produktsiooni. Töö suurimat võimsust, millel La teke ja väljaviimine lihastest on tasakaalus, nimetatakse anaeroobseks läveks (ANEL). Individuaalset ANEL väljendatakse lisaks liikumiskiirusele ja La veretasemele veel südame löögisageduse ja O_2 -tarbimise taseme ($\% \dot{V}O_{2\max}$) kaudu.

Uurimistulemused näitavad, et vastupidavusomaduste arendamine on efektiivsem intensiivsusel ANEL lähedaste kestusharjutuste abil. See teeb võimalikuks funktsionaalse stabiilsuse e. püsiseisundi tasakaalustatuse uue kõrgema taseme saavutamise.

Sporditegevust on võimalik iseloomustada rakendatud jõu ja saavutatud kiirusega.

Lihasejõudu iseloomustab kehalisel tegevusel lihaste poolt arendatava pinge suurus. Jõutreeningu anaboolne mõju lihasvalkude sünteesile avaldub lihashüpertroofia arengus ja nende füsioloogilise ristliikepindala suurenemises. Oluline on KP- ja glükogeenivarude ning müosiini ATPasse aktiivsuse kasv. Kõrvuti morfoloogiliste muutustega mõjustab jõu arenemist mootorsete ja vegetatiivsete funktsioonide koordinatsiooni täiustamine:

- 1) mootorsete ühikute mobilisatsiooni suurendamine agonistlihastes;
- 2) antagonistlihaste talitluse pidurdamine;
- 3) lihaste mõjutamine sümpaatilise närvisüsteemi kaudu.

Terminit **kiirus** kasutatakse inimese liigutuste iseloomustamisel: a) üksikliigutuse kiiruse hindamisel, b) reaktsiooni latentsaja hindamisel (reaktsioonikiirus), c) ruumis liikumise kiiruse määramiseks tsüklilistel

harjutustel. Tähtsaim füsioloogiline faktor, millest liigutuste kiirus sõltub, on närviprotsesside liikuvus. Ei saa alahinnata ka kontraktiilse aparaadi morfofunktsionaalset seisundit.

Sportmängudes ja partneraladel põhineb saavutusvõime jõu-, kiirus- ja vastupidavusomaduste teatud vahekorral. Räägitakse kiirusvastupidavuse, kiirusjõu, jõuvastupidavuse jne. avaldumisest. Neile aladele on omased mittestandardised liigutused, mis nõuavad head liigutuste koordineerimist ja osavust. Kuna tegevus on seotud mängupartnerite ja vastas(t)e aktiivse tegevusega ja vahendiga (pall, litter sportmängudes), nõuab see pidevalt ühe- või mitmekäigulise tegevusplaani aktiivset püstitamist ja optimaalset realiseerimist muutuvates olukordades. Etteaimamisvõime, pete, koha- ja asendivalik, õigeaegne kiirendus, täpne lõpp- või vaheeesmärgi realiseeriv tegevus (võte, vise, löök, sööt) jne. on oskused, milleta ka parimad kehalised võimed ei realiseeru sportlikult hinnatavaks tulemuseks sportmängudes ja partneraladel. Nimetatud omaduste arendamist nimetatakse taktikalis-tehniliseks ettevalmistuseks. Füsioloogiliseks aluseks on siin analüsaatorite kaudu kesknärvisüsteemi saabuvate signaalide mitmeastmeline analüüs ja aktiivne tagasiside, vajalike tingitud reflekside kujundamine. Filosoofiliste kategooriate abil väljendatuna on vajalik üleminek meeleliselt tunnetuselt abstraktele mõtlemisele ja mõtlemiselt praktikale (adekvaatne motoorne vastus). Energeetiliselt kindlustatakse aktiivne tegevus sportmängudes ja partneraladel põhiliselt anaeroobsel teel (KP ja Gly). Aeroobset töövõimet ei saa mingil juhul alahinnata nii treeninguvõime (üldvastupidavus on mahuka ja intensiivse spetsiaaltreeningu talumise eelduseks) kui kiire taastumisvõime alusena.

Organismi füsioloogiliste reservide mobiliseerimise küsimus on ühest küljest seotud treeninguefektiga s.o. saavutusreservi ulatuse suurendamisega süstemaatiliste kehaliste harjutuste mõjul ja teiselt poolt organismi varujõudude osalise kasutamise ja optimaalse emotsionaalse stressi tingimustes. Eelduseks on retikulaarformatsiooni talitluse intensiivistumine, mis närvikeskuste erutuvuse tõusu kaudu loob soodsa pinna võimete ulatuslikuks kasutamiseks. Sümpatoadrenaalüsteemil on tähtis roll süsivesiku- ja rasvaainevahetuse mobiliseerimisel, mis realiseerub katehhoolamiinide (adrenaliini ja noradrenaliini) toimel. Erakordsed kehalised pingutused on aga võimalikud vaid siis, kui kõik organismi kohanemismehhanismid on maksimaalselt aktiveeritud, selles on keskne koht hüpofüsaar-adrenokortikaalsüsteemil.

Sportlik saavutusvõime väliskeskkonna eri tingimustes

Mägitingimused jaotatakse olenevalt kõrgusest üle merepinna madalmäestiku (750 - 1000 m), keskmäestiku (1500 - 3000 m) ja kõrgmäestiku (üle 3000 m) omadeks. Kui madalmäestikus treenitud organismil olulisi kohanemisraskusi ei teki, siis kesk- ja eriti kõrgmäestikus mõjub terve hulk ekstremaalseid faktoreid. Ultraviolettkiirguse mõju, õhuionisatsiooni, niiskuse, temperatuuri suured kõikumised võimenduvad mägedesse tõustes atmosfäärirõhu languse ja hüpoksia, s.o. hapniku normaaltینگimustest madalama osarõhu mõju tõttu.

Näiteks meretasapinnal õhurõhu korral 760 mm Hg on alveolaarne pO_2 103 ja arteriaalne 95 mm Hg; 2000 m kõrgusel üle merepinna on õhurõhk 600, alveolaarne pO_2 76 ja arteriaalne 70 mm Hg.

Akuutse ja kroonilise hüpoksia mõju erinevuse põhjuseks on esmajoonel organismi spetsiifiliste kohanemisreaktsioonide käivitumine mõjustuse kestuse kasvades. Kiiradaptatsiooniliste muutuste hulka kuulub hingamissüsteemi ja südame-vereringesüsteemi kõrgenenud reaktiivsus mäestikutingimustes. Kompensatoorne hüperventilatsioon ja SLS tavalisest kõrgem tase on eriti väljendunud kehalistel pingutustel. Seevastu kopsude difusioonivõime muutub väga aeglaselt. Kesk- ja kõrgmäestikus pidevalt elavatel inimestel on kopsumaht ja kopsude difusioonivõime usutavalt suurem kui tasandikuasukatel. Hüpoksia kompenseerimiseks mäestikutingimustes intensiivistub erütropoees. Nädalaid kestev aklimatiseerumine kesk- ja kõrgmäestikus kuni 4800 m kõrgusel toob kaasa Er arvu kasvu lineaarselt toimeaja pikenedemisega. Koos Er hulga suurenemisega kasvab ringleva vere maht ja Hb hulk, mis kokkuvõttes tagab vere O_2 -mahtuvuse tõusu. HbO_2 dissotsiatsioonikõvera kaldumine paremale hüpoksia tingimustes parandab veelgi kudede varustamist hapnikuga. Vaatamata sellele jäävad individuaalsed V_{O_2} max näitajad 2000 - 6000 m kõrgusel 15 - 50 % O_2 madalamaks kui meretasapinnal mõõtes. Reaklimatisatsioonifaasis, hüpoksia mõju lõppedes on vastupidavusalade sportlastel täheldatud aeroobse töövdõime kõrgenenud taset 1 - 2 kuu kestel (V_{O_2} max tõus 2 - 10 %). Seetõttu kasutatakse pikamaajooksjate, O_2 mürdmaasuusatajate jt. kestvaosalade treeninguskeemides ettevalmistus- ja võistlusperioodil edukalt mägietaapi.

On oluline, et treeningu organiseerimisel mägitingimustes arvestaksime kõrguse suurenedes merepinnast täiendavaid energeetilisi kulutusi, eriti hingamissüsteemi ja südame funktsioonides. Korduval mägilaagri-

te kasutamisel aitab sportlast ja treenerit eelnev kogemus ja nn. adaptatsioonimälu kaasa kiiremale ja efektiivsemale kohanemisele hüpoksia tingimustega.

Jõu- ja kiirusaladel, näiteks 100 - 400 m sprindidistantsidel on sportliku saavutusvõime avaldumiseks keskmäestikus isegi teatud eelised, kuna õhutakistus on väiksem. Aladel, kus tehniliste vahendite kasutamise ja suurema arendatava kiiruse tõttu on õhutakistusel oluline mõju tulemusele (jalgrattasõit), kompenseerib tunduvalt väiksem takistus liikumisel funktsionaalsete võimete madalamat avaldumistaset ka kestmamal tööol (tunnisõit trekil).

Oldjuhu! kehtib vastupidavustöö! hüpoksia tingimustes seaduspärasus - mida pikem distants ja madalam pO_2 , seda suurem on töövõime langus võrreldes normaalingimustega.

Adaptatsioonil kõrgenenud välistemperatuuri ja õhu niiskusega on organismis tekki! soojuse äraandmiseks väliskeskkonda kaks põhilist termoregulatsioonimehhanismi: 1) nahaverevarustuse suurenemine, 2) suurenenud higieritus.

Organismi ülekuumenemise vältimiseks võib perifeerne verevarustus suureneda kuni neljakordseks, see tagab soojuse ärajuhtimise konvektsiooni ja radiatsiooni teel. Ohu!oolu intensiivistumine nahapinnal soodustab samuti konvektsiooni ja higi aurumist. Higierituse intensiivsus suureneb nii keskkonna- kui nahatemperatuuri tõusuga, olles füüsilisel pingutusel lineaarses sõltuvuses arendatavast võimsusest ja keha sisetemperatuurist. Treenitud sportlase higieritus võib tõusta 20 - 25 ml/min, s.o. 1,2 - 1,5 l/h.

Areneva dehüdratatsiooniga (veekaotusega) kaasneb elektrolüütide väljavõimine ja vereplasma mahu vähenemine. Seepärast peab suure veekaotuse kompenseerimiseks kasutatavate jookide retseptuuri koostamisel arvestama eriti Na^+ - ja Cl^- -, vähem K^+ , Mg^{2+} - ja Ca^{2+} -ioonide kaotust. Maratonidistantsil kasutatav jook peaks olema hüpotooniline (vähese soolasisaldusega), imendumise kiirendamiseks jahe ning süsivesikusisaldusega kuni 2,5 %. Juua on soovitatav 10 - 15min vaheajadega korrata 150 - 250 ml.

Kohanemiseks keskkonna madala temperatuuriga välidib organism liigseid soojuskadusid. Selleks väheneb nahaverevarustus ja vajadusel suureneb organismi soojaproduktsioon. Külma!äriate teke on reflektoorseks kaitsereaktsiooniks keha liigjahtumise vastu. Suusatamisel (jt. talispordialadel) on suur soojuskadu organismist kopsude kaudu kõrge O_2 -tarbimise taseme ja hüperventilatsiooni tõttu.

Suusamaratonil võib võistlejat joota 20 - 30min va-

heaegadega ja kuna higieritus ja tekkiv dehüdratatsioon on väiksemad kui maratonijooksjal, ei ole vee kiire imendumine omaette eesmärgiks. See lubab suurendada joogi süsivesikusisaldust 25 %ni, tõstes selle energeetiliselt väärtust.

Ujumise kui spordiala füsioloogilised iseärasused tulenevad eritingimustest liikumisel vees: 1) suurenenud takistus, 2) keha horisontaalasend, 3) vee suur soojusjuhtivus.

Kehamassist ja erikaalust (1,07 - 1,08) sõltuv kehakaal vees on naistel 1,6 - 4,7 kg ja meestel 4,9 - 5,8 kg. Ujumisel kulub väiksem osa tööst selleks, et hoida keha veepinnal, ja lõviosa edasiliikumiseks, s.o. peamiselt frontaaltakistuse ületamiseks. Energiakulu ujumisel on 5 - 10 korda suurem kui sama kiirusega edasiliikumiseks maismaal (kõnd või sõrkjooks 5 - 6 km/h). Vabaujumise stiil krool on energeetiliselt kõige efektiivsem. Rinnuliujumises ja delfiinis kulub suurema frontaaltakistuse ja kätetöö iseärasuste tõttu sama liikumiskiiruse saavutamiseks ligemale kaks korda rohkem energiat kui kroolis. 100 m distantstil ujudes kaetakse ligemale 80 % kulutusi anaeroobsel teel, alates 400 m distantist on ülekaal aeroobsel energiaproduktsioonil.

Hingamisfunktsioon vees on hüdrostaatilise rõhu tõttu raskendatud. Hingamismahu suurendamine on võimalik vaid sissehingamise reservmahu arvelt. Selle tulemusena paraneb alveolaarventilatsioon ja suureneb O_2 omastamine (ΔO_2 %), kuid ka energiakulu hingamislihaste tööks kasvab tunduvalt.

Südame-veresoonekonna funktsioone mõjustab ujumisel lisaks veele keha horisontaalasend - maksimaalne SLS on 10 - 15 löögi võrra minutis madalam kui jooksimisel, südame löögimaht parema venoosse tagasivoolu tõttu mõnevõrra suurem. Mahukas ujumistreening arendab eelkõige lihaste aeroobset potentsiaali, eriti aeglastes (I) ja kiiretes oksüdatiivsetes (II-A) kiududes.

Vees on organismi soojakadu suurenenud. Olenevalt veetemperatuurist võib kuni 95 % kogu energiaproduktsioonist eralduda soojusena. Jahedas ja külmas vees tekib vereringe regulatsioonikonflikt, kuna üheaegselt suureneb metaboolne vajadus lihaste vere- ja hapnikuvärsustuse suurendamiseks ja termoregulatiivne vajadus nahaverevarustuse kasvuks. Vette minek täiskõhuga on eluohtlik, sest vereringe regulatsioonikonflikt süveneb seedeorganite verevarustuse ulatusliku suurenemise tõttu veelgi.

Ajavööndi muutumisel häirub füsioloogiliste funktsioonide ööpäevane rütmilisus. Ainevahetuse aktiivsuskõver, kehatemperatuuri kõikumised, une ja ärkveloleku

vaheldumine jm. teised psühhofüsioloogilised funktsioonid on ööpäevase rütmiga. Ööpäevase rütmi häirumine avaldab suuremat mõju töövõimele kiirusjärglasel, vähem vastupidavusel. Adaptatsioon aja- ja kliimavööndi suure muutusega (ajavahe 4 - 8 t) on faasiline; täheldatakse töövõime languse faasi 2. - 5. päeval, osalist töövõime taastumist 6. - 10. päeval ja täielikku töövõime taastumist 10. - 20. päeval.

Teatavasti on suurvõistluste geograafia väga lai. Olümpiamängude ja MMvõistluste toimumiskohad valitakse põhimõtteliselt maailmajagusi vaheldades. See asjaolu seab tippspordis vajaduse pidevaks organismi kohanemismehhanismide täiustamiseks ajavööndi ja kliimatingimuste muutuste suhtes. Põhimeetoditena on kasutusel:

- 1) päevakava, osaliselt ka une- ja treeninguaegade järkjärguline nihutamine tulevase võistluskoha ajavööndisse;

- 2) treeninglaagrite korraldamine tulevasele võistluskohale lähedastes aja- ja kliimatingimustes;

- 3) 2 - 3nädalane võistluseelne aklimatiseerumine tulevases võistluskohas, mida peetakse nii füsioloogilise adaptatsiooni kui psüühilise võistlusvalmiduse saavutamise seisukohalt eelpool loetletud võimaluste hulgas kõige efektiivsemaks.

Sportimisel tekkivate seisundite füsioloogiline iseloomustus

Lihastegevusel muutuvad paljud organismi funktsioonid juba enne lihastöö algust, stardieelses seisundis. Organismi kiiremaks mobiliseerimiseks tehakse treeningutel ja võistlustel eelsoojendust. Töö alperioodi nimetatakse sissetöötamise perioodiks. Kestval tööil võib tekkida püsiseisund, mille puhul energeetilised kulutused on tasakaalus nende taastumisega. Pingutaval lihastööl võib tekkida surnud punkt, millele järgneb nn. teine hingamine. Töö käigus võib kujuneda väsimus, mis signaaliseerib organismi funktsionaalsete võimete piiri lähenemisest. Pärast töö lõppu toimub energeetiliste varude ja organite ning organsüsteemide funktsionaalse seisundi taastamine.

Stardieelne seisund tekib enne lihastegevuse vahetut algust stardikäskluste ja stardiasendi võtmise mõjul. Sellele eelneb võistluste korral kaua enne starti tekkiv emotsionaalne seisund - stardieelne seisund. Stardieelne- ja stardiseisund soodustavad organismi funktsioonide tööks ettevalmistamist, see on seotud otseselt ajukoore talitlusega. Mida raskem on eelseisev tegevus, seda selgemini stardieelsed muutused väljenduvad. Organismi talitus sõltub ka stardikäskluse andmise situatsioonist ning sportlase kõrgemast närvitegevusest. Stardieelne seisund võib avalduda võistlusvalmidusena, stardipalavikuna ja stardiapaatiana. Võistlusvalmiduse korral kasvab optimaalselt aju erutuvus ning tõuseb närviprotsesside liikuvus. Samaaegselt intensiivistub südametegevus ja hingamiselundite talitus optimaalsele tasemele, ainevahetuse tõus on mõõdukas. Võistlusvalmiduse puhul kindlustatakse kõrgeim töövõime.

Stardipalavikku iseloomustab ülemääraselt tugev erutusprotsess kesknärvisüsteemis, siseelundite talitluse muutused võivad olla väga ulatuslikud: südame löögisageduse ja kehatemperatuuri järsk tõus, vere glükootase on tunduvalt kõrgem normist. Stardipalaviku puhul kasutab organism liiga palju energiat stardi ootel, see stardieelne seisund ei ole efektiivne, esineb sagedamini tasakaalustamata närvisüsteemitüübiga sportlastel.

Stardiapaatiat iseloomustab pidurdusprotsesside prevaleerumine kesknärvisüsteemis. Selle stardicelse seisundi puhul väljenduvad vegetatiivsed nihked mõõdukamalt. Stardiapaatiat puhul on sporditulemused tavalisest madalamad. Stardiapaatia esineb sagedamini vähetreinitud sportlastel, aga ka kartusel kohtuda endast tugevamate vastastega.

Sissetöötamiseks nimetatakse perioodi kehalise tegevuse algul, mille vältel töövõime tõuseb. Sissetöötamine on organismi kohanemine tegevuse uue tasemega, mis tagab töö jätkamise vajalikul intensiivsusel. Sissetöötamise algusele iseloomulik pidurdusfaas vaheldub erutusega, mis soodustab töövõime kasvu. Organismi kõik süsteemid ei saavuta tööolukorras vajalikku taset üheaegselt, kiiremini kohandub tööga liigutusaparaat, vegetatiivsete funktsioonide mobiliseerimine võtab rohkem aega. Kui südame löögisagedus võib saavutada maksimumväärtused juba esimese 2 minutiga, siis hapniku tarbimise maksimaalnäidud saavutatakse töö 4. - 5. minutil, seepärast tekib töö algul O_2 -defitsiit. Sissetöötamise ajal tõuseb koos südame löögisagedusega südame löögi- ja minutimaht ning arteriaalne rõhk. Treenitumail kulgeb teiste võrdsete tingimuste juures sissetöötamine kiiremini. Sissetöötamisaja lühenemist soodustab õigesti läbiviidud eelsoojendus.

Surnud punkt võib tekkida intensiivsetel ja kestva pingutustel. See on sissetöötamatuse kaastatus, mida iseloomustab töövõime ajutine langus, kasvab südame löögisagedus, suureneb kopsuventilatsioon ning intensiivistub gaasivahetus. Iseloomulik on pCO_2 tõus veres ja alveolaarõhus, vere pH langeb. Surnud punkti tekkimisel on mittevastavus liigutusaparaadi ja siseelundite talitluse vahel. Selline olukord 5 ja 10 km jooksus võib tekkida 6 - 8 minutit pärast töö algust, distantsi pikendamisel aga hiljem. Treenitumail tekib surnud punkt suhteliselt hiljem ja esineb kergemal kujul, vahel möödub see märkamatuks. Õige eelsoojendus võib vältida surnud punkti teket või kergendada selle ületamist. Surnud punkt ületatakse tahtepingutusega. Selleks on vaja treenida ebasoodsate aistingute vastu, mis kujunevad seoses happeliste produktide kuhjumisega organismis.

Teine hingamine, s.o. järsk kergendustunne tekib surnud punkti ületamise järel. Sel ajal tugevneb higieritis ja normaliseeruvad suhted vegetatiivsete funktsioonide vahel. Südame löögisagedus ja kopsuventilatsioon ning gaasivahetuse näitajad võivad järk-järgult saavutada püsitaseme. Teise hingamise saabumist soodustab hingamisliigutuste tahteline tugevdamine väljahingamist rõhutades, sellele aitab kaasa ka töö intensiivsuse vähendamine.

Püsiseisund tekib kestva töö pärast sissetöötamisperioodi (vt. lk. 66). Tõeline püsiseisund tekib mõelduka võimsusega kehalisel töö, näiline aga suure ja submaksimaalse võimsusega töö, kui viimase kestus on 3 - 5 min. Tõelise püsiseisundi puhul kaetakse organismi hapnikuvajadus, ATP resünteesis toimub põhiliselt ae-

roobsel teel, kusjuures organismi sisekeskkonna parameetrid oluliselt ei muutu. Näilise püsiseisundi korral ei rahuldata hapnikutarvidust täielikult ning tööil võib tekkida ulatuslik hapnikuvõlg. Näilise püsitaseme puhul saavutavad südame- ja vereringetalitlus ning hingamissüsteemi näitajad maksimaalväärtused. Töö näilise püsiseisundi tingimustes on väga raske ja selle jätkamine nõuab suurt tahte jõudu. Eriline püsiseisund vegetatiivsetes funktsioonides võib esineda kordustööde sooritamisel, seejuures igal järgneval kordustööl südame löögisagedus, kopsuventilatsioon, O_2 tarbimine jne. kasvavad progresseeruvalt.

Emotsioonide mõju töö võimele, selle füsioloogiline mehhanism

Tavalisi automatiseeritud tegevusi sooritades kasutab inimene kuni 30 % oma ressurssidest. Selleks ei vaja ta tahtepingutust. Väsimustunnet ei ilmne. Ilma erilise vaevata on kasutatav ka ressursside teine osa, mida nimetatakse mobilisatsioonivalmiduseks ja mis ulatub umbes 50 %ni ressursside koguhulgast. Järgmise osa, mobilisatsioonireservi kasutamine nõuab tugevat tahtepingutust ja selle osa ulatus sõltub tahte jõu tasemest. Kujuneb äärmuslik väsimusseisund nii subjektiivse väsimustunde kui ka väsimust iseloomustavate objektiivsete näitude poolest. Tekib ettekujutus kõigi ressursside ammendumisest. Tegelikult on veel kasutamata umbes 30 % organismi ressurssidest, see on varujõud, mille osaline kasutamine on võimalik üksnes erilise emotsionaalse seisundi puhul (tekib hädaohusituatsioon).

Varujõu kasutamist piiritleva barjääri ületamiseks on vajalik ulatuslik muutus kesknärvisüsteemi seisundis ning organismi ressursside mobiliseerimist tagavate füsioloogiliste mehhanismide maksimaalne aktiivsus. Mõlemad tekivad hädaohusituatsioonile, mõningal määral ka võistlussituatsioonile omase emotsionaalse seisundi puhul.

Emotsionaalse erutuse puhul kõrgeneb kesknärvisüsteemi erutuvus ja labiilsus ajutüves paikneva retikulaarformatsiooni vahendusel. Retikulaarformatsiooni ülemäärasel aktiivsusel närvikeskuste erutus kõrgeneb niivõrd, et raskeneb pidurduse teke, mistõttu häirub koordineeritud tegevus, kaob keskendumine. Retikulaarformatsiooni talitlust kontrollib ajukoore vanemas osas paiknev *hippocampus*, lähetades nimetatud struktuurile pidurdavaid närviimpulsse. Emotsionaalsetes seisundites retikulaarformatsiooni ja *hippocampus*'e aktiivsuse vahe-

kord muutub:

1) retikulaarformatsiooni talitlus intensiivistub, viies erutuvuse ja labiilsuse optimaalsele tasemele; säilivad pidurdavad impulsid *hippocampus*'est hoiavad ära liialdused, mistõttu ulatuslikult mobiliseeritavaid võimeid kasutatakse otstarbekalt ja sihipäraselt; sellise seisundi tekkel sportlasel võistlussituatsioonis räägitakse võistlusvalmidusest;

2) retikulaarformatsiooni talitlus intensiivistub äärmuslikult, kuna puuduvad pidurdavad impulsid *hippocampus*'est; võimed on ulatuslikult mobiliseeritavad, kuid nende kasutamine on ebaotstarbekas ning ebaefektiivne; sellise seisundi teke sportlasel võistluse eel on seostatav stardipalavikuga;

3) *hippocampus*'e talitlus aktiveerub ulatuslikult, mistõttu kahaneb miinimumini retikulaarformatsiooni aktiveeriv funktsioon; tekib depressioon, võimete mobiliseeritavus on madal; sellise seisundi teke sportlasel enne võistlust on seostatav stardiapaatiaga.

Retikulaarformatsiooni talitlus on tihedas seoses hüpotalamusega, milles paiknevad organismi võimete mobilisatsiooni juhtivad närvikeskused. Need realiseerivad oma ülesanded põhiliselt sümpatoadrenaalsüsteemi ja hüpofüsaaradrenokortikaalsüsteemi aktiveerimise kaudu. Nende kahe süsteemi äärmuslik aktiivsus koos võistlusvalmidusele omase seisundi tekkega kesknärvisüsteemis on vajalik ületamiseks varujõudude kasutamist tõkestav barjäär ning rakendamaks täiendavaid ressursse.

Väsimus on füsioloogiline seisund, mis tekib intensiivse või kestva tegevuse tagajärjel ja mis väljendub väsimustundena, funktsioonide kooskõlastatuse häirena ja töövõime langusena. Väsimuse teke on seotud nii perifeersetega, lihases kujunevate muutustega kui ka tsentraalsete protsessidega kesknärvisüsteemis. Perifeersetega protsesside hulgas olulisemad on ATP resünteesi mahajäämus kulutamisest, vesinikioonide kuhjumine ja mediaatorite sünteesi häire sünaptsides. Enamikul juhtudel on perifeersed protsessid primaarsed, nende negatiivse mõju kahandamiseks teeb kesknärvisüsteem kompensatoorseid ümberlülitusi, kasutades teisi motoorseid ühikuid ja ka teisi lihaseid. Kompensatoorseid ümberlülituste ulatust vähendab kord-korralt närvirakkudes arenev ülepiiriline pidurdus.

Väsimuse bioloogiliseks funktsiooniks on kaitsta organismi ressursside ülemäärase kulutamise eest. Väsimusel on tähtis koht varujõudude kasutamist piiritleva barjääri moodustamisel.

Väsimustunde ilmumine tõendab väsimuse algust. Siitpeale toimub töö väsimuse foonil. See periood ja-guneb kaheks staadiumiks: 1) ületatava väsimuse staa-

dium, 2) töövõime languse staadium. Ületatava väsimuse staadiumi esimeseks faasiks on väsimustunde faas, milal puuduvad objektiivsed tõendid väsimuse olemasolust, kuid esineb ja süveneb väsimustunne. Teine faas on töö ebaökonomiseerumise faas. Väsimusele omased muutused kujunevad lihastes ja närvirakkudes, nende kompenseerimiseks tuleb täiendavalt tegevusse rakendada uusi motoorseid ühikuid ja teisi lihaseid. Iga töötsükli täitmine põhjustab nüüd suurema energiakulu. Ilmneb funktsioonide omavahelise kooskõlastatuse muutumine. Kolmas on motoorse kompensatsiooni faas. Et kompenseerida lihaskõhu langust, suurendatakse liigutuste sagedust säilitamiseks liikumise kiirust. Selle võimaluse amendamisel tekib üleminek ületatava väsimuse staadiumist töövõime languse staadiumi.

Treenitusseisundi füsioloogiline iseloomustus

Süsteemaatilisel korduva lihastöö tulemusel toimuvad organismis biokeemilised, morfoloogilised ja funktsionaalsed ümberkorraldused, mis viivad kehalise töövõime tõusule. Nende muutuste ulatus oleneb treeningute mahust ja intensiivsusest, arvestada tuleb ka kehaliste harjutuste mõju olenevalt sportlase soost ja vanusest.

Treenitus tekib töö paljukordse kordamise tulemusel ja on selle loomulikuks tagajärjeks.

Treenituse füsioloogilised näitajad iseloomustavad nii üldise kui ka valitud spordiala suhtes spetsiaaltöövõime kõrget taset. Treenitusseisundi hindamisel saame objektiivset informatsiooni kompleksmeetodite kasutamisel.

Jõudeolekus on treenituil suurenenud närviprotsesside liikuvus, see on iseloomulik just kiirustööl. Treeningute tulemusel tekib skeletilihaste hüpertrofia, seda on kõige rohkem jõuharjutuste korral ja staatilisel tööl. Samaaegselt kaasneb skeletilihaste verevarustuse paranemine. Keha erikaal suureneb vee ja rasvkoe vähenemise arvel. Treenitud lihases tõuseb fermentide aktiivsus, samuti suurenevad kreatiinfosfaadi ja glükogeenivarud. Biokeemilised ja morfoloogilised muutused on aluseks organismi funktsionaalsetele nihetele. Treeningute tulemusel kasvavad hingamislihaste jõudlust iseloomustavad pneumotahhometria näidud, suureneb kopsude eluline mahtuvus ($VC = 5,0 - 7,0 \text{ l}$) ning tõuseb kopsude maksimaalne ventilatsioon ($\dot{V}_{\max} = 200 - 240 \text{ l/min}$). Parasümpaatilise närvisüsteemi toonuse tõus soodustab südameatalitluse ökonomiseerimist. Tree-

nitud sportlastel on suur südamemaht ja madal südame löögisagedus jõudeolekus, see on criti iseloomulik kestusaladega tegelejatel. Vere muutustest on iseloomulik leelisreservi tõus ning puhversüsteemide osatähtsuse kasv.

Mõõdukatel, standardsetel koormustel tehakse treenituse määramiseks funktsionaalseid teste ühetaolisel füüsilisel koormusel. Kehaline töö sooritatakse velergomeetril ja tredbanil, samuti kasutatakse selleks steppesti. Treenitust saab hinnata ka loomulikes treeningutingimustes. Standardsete koormuste sooritamisel on iseloomulik füsioloogiliste funktsioonide kiire tööaegse taseme saavutamine, kehalise töö ajal on nende talitlus vähem kõrgeenenud, seejuures taastumisprotsessid kulgevad kiiremini. Treenitud sportlasi iseloomustab töö sooritamisel organismi talitluse ökonomiseerumine, nii on neil madalam energiakulu, väiksem kopsuventilatsioon, O_2 tarbimine ja südame löögisagedus standardsetel koormustel. Kasvavate koormuste sooritamisel määratud anaeroobne lävi suureneb oluliselt treeningute tulemusel, mittetreenituil on see 50 - 55 % hapnikulaest, sportlastel on vastavad näidud 70 - 85 %. Muutused vere näitajates (pH, piimhappesisaldus) on sportlastel mõõdukatel koormustel väiksemad kui mittetreenituil.

Äärmuslikel, maksimaalsetel koormustel määratud aeroobse ja anaeroobse töövõime näitajad on sportlastel oluliselt kõrgemad kui mittetreenituil, funktsioonide taastumine toimub aga esimestel kiiremini. Kestusaladega tegelejatel ulatub hapnikulagi 6 - 7 liitrini minutis e. 80 - 90 ml/kg.min. Sportlastel on kõrge südame minutimaht, ulatudes 40 - 45 l/min. Treenitusseisundi tõusul kasvab hapnikuvõla talumisvõime, tööd suudetakse jätkata enamväljendunud sisekeskkonna muutuste puhul. Maksimaalsete koormuste sooritamisel võib sportlastel pH langeda alla 7,0, kusjuures piimhappesisaldus veres võib ulatuda 200 - 240 mg%.

Treenituse kujunemise mehhanism. Treening tähendab adaptatsiooni lihastegevusega. Siin peavad paika adaptatsiooniprotsessidele omased üldised seaduspärasused (vt. lk. 31). Treeningukoormused aktiveerivad kiiradaptatsiooni, mis omakorda loob stiimuli kestusadaptatsiooni kujunemiseks. Viimasel juhul kajastab kestusadaptatsiooni töövõime tõus (põhiliselt treeningul kasutatavate harjutuste suhtes) ning kõigi nende muutuste kujunemine, millel põhineb erialase töövõime juurdekasv. Keskse kohal on adaptiivne valgu süntees. Intensiivistatult sünteesitavate valkude kogumi määravad treeningharjutuste sooritamisel kuhjuvad metaboliidid. Seepärast on igal treeningharjutusel oma spetsiifiline mõju.

Kõige üldisemalt käsitledes väljendub see mõju jõuharjutuste puhul kontraktiilsete valkude hulga suurenemises, vastupidavusharjutuste puhul mitokondrite hulga ja kogumassi juurdekasvus, kiirusharjutuste puhul sarkoplasmaatilise retiikulumi täiustumises, kiirvastupidavusharjutuste puhul puhveromadustega valkude ning madala pH puhul kõrget aktiivsust säilitavate isoensüümide sünteesimises. Kõik need muutused leiavad aset eelkõige põhikoormust kandvates lihaskiududes (vastupidavusharjutuste puhul põhiliselt punastes, kiirus- ja jõuharjutuste puhul valgetes lihaskiududes).

Muutused haaravad ka teisi organeid. Kontraktiilsete valkude juurdekasvuks südamelihases on vajalik südame töö maksimaalselt tugevate kontraktsioonidega, sarkoplasmaatilise retiikulumi täiustamiseks aga südametegevus kõrgel löögisagedusel. Kui maksimaalsed kontraktsioonid ilmnevad müokardil löögisagedusei üle 130 löögi minutis, siis teise ülesande täitmine nõuab tegevust löögisagedusel 170 - 190 lööki minutis. Treeninguefekti saamiseks on mõlemal juhul tarvilik pikaajaline mõjutus, s.o. südame töö vastaval tasemel pika aja vältel. Sellise olukorra kindlustavad vastupidavusharjutused, mis sõltuvalt intensiivsusest arendavad kas müokardi kontraktiilset aparati (mööduka intensiivsusega kestusharjutused) või nii kontraktiilset aparati kui ka sarkoplasmaatilist retiikulumi (suure intensiivsusega kestusharjutused). Jõu- ja kiirusharjutused on liiga lühiaegsed, et avaldada treenivat mõju müokardile, koordineatsiooni- ja painutusharjutused aga sageli mitteüllaldase intensiivsusega südametegevuse suhtes. Müokard on rikkalikult varustatud mitokondritega. Siin treeningu mõjul edasist tõusu ei täheldata.

Painduvusharjutuste puhul keskendub adaptiivne valgu süntees peamiselt kõõlustesse ja liigessidemetesse. Intensiivistatult sünteesitakse suurt elastsust kindlustavaid valke. Osavus- ja koordineatsiooniharjutuste puhul sünteesitakse valke ajukoos, moodustamaks uusi närvijätkeid ja närviseoseid neuronite vahel.

Adaptiivset valgu sünteesi võimendavad hormoonid (vt. lk. 32). Seepärast on vajalik, et treeningukoormus oleks küllaldaselt suur aktiveerimaks üldise adaptatsiooni mehhanismi, et kutsuda esile stressiseisundit.

Adaptiivne valgu süntees realiseerub taastumisperioodil. Treeningurežiim on siis optimaalne, kui treeningukoormuste vahel on küllaldane aeg adaptiivse valgusünteesi realiseerimiseks, kuid mitte rohkem. Adaptiivse valgusünteesi lakkamisel intensiivistub äsja moodustunud valgustruktuuride lagunemine. Seda hoiab ära õigeaegselt järgnev uus treeningukoormus.

Taastumisperioodil leiab aset energiavarude liiaga taastamine - superkompensatsioon, millel on oluline osa energiavarude koguhulga suurenemises treeningu tulemusel.

Nii liigutuskoordinatsiooni kui ka organismis toimuvate elutalitlusprotsesside üldise reguleerimise täiustumisel on tähtis koht uute, spetsiifiliste tingitud refleksi moodustamisel, neist dünaamiliste stereotüüpide kujunemisel, ekstrapolatsioonivõime arenemisel ning organismi süsteemse talitluse mitmesuguste mehhanismide täiustumisel.

Kehaliste harjutuste tervistava mõju füsioloogilised alused. Inimese (nagu kõigi loomade) organism on ette valmistatud lihastöö tegemiseks. Tänapäeva ühiskonnas taandub see tagaplaanile seoses tootmise ja transpordi mehhaniseerimise ja automatiseerimisega. Tekib liikumisvaegus (hüpokineesia) koos adaptatsioonivõime langusega, degeneratiivsete muutustega ning otseste tervisekahjustustega. Liikumisvaeguse korral süveneb emotsionaalse pingega negatiivne mõju. Liikumisvaeguse peab likvideerima kehaliste harjutuste süsteemikindlalt sooritamine. Kehalise aktiivsuse tase võib olla mitteküllaldane (tingib liikumisvaeguse koos sellele omase negatiivse mõjuga), minimaalne (liikumisvaeguse negatiivne mõju on välditav, kuid puudub tervist tugevdav mõju), optimaalne (saavutatakse tervise tugevnemine), ülemäärane (tekib kurnatus, ülepingutusnähud).

Tervise tugevnemise aluseks on üldise adaptatsioonimehhanismi täiustumine ja organismi reservvõimaluste suurenemine. See realiseerub kehalisel treeningul järgmistele muutustele kaudu:

- 1) närviregulatsiooni täiustumine,
- 2) endokriinsüsteemide funktsionaalsete võimete kasv ja funktsionaalse stabiilsuse suurenemine,
- 3) organismi energeetilise ja plastilise reservi suurenemine,
- 4) hapniku transpordi süsteemi funktsionaalsete võimaluste juurdekasv,
- 5) hapniku parem ära kasutamine, oksüdatsiooniprotsesside täiustumine,
- 6) ionopumpade funktsionaalse stabiilsuse tõus.

Olulise muutusena lisandub kehalise treeningu antisklerootiline efekt, mis avaldub mehhaanilisena (kudedes suur liikuvus tõkestab sklerootilisi muutusi) ja metaboolsena (veres väheneb kolesteriinisaldus ja suureneb α -lipoproteiinide kontsentratsioon).

Kehalise treeningu tervistuslik efekt sõltub kehaliste harjutuste mõju spetsiifikast. Kõige laialdasema mõjuga on vastupidavusharjutused.

Vastupidavusharjutusi ühendatakse mõistesse aeroo-

bika, kui nad vastavad järgmistele nõuetele:

- 1) harjutus toimub pika aja vältel,
- 2) harjutuse aluseks on suurte lihasrühmade töö,
- 3) harjutus seisneb pidevas tsüklilises lihastegevuses,

- 4) harjutuse sooritamine põhineb aeroobsetel energeetilistel protsessidel.

Aeroobsete vastupidavusharjutuste puhul jääb tagasihoidlikuks närviregulatsiooni täiustumine ja mehaaniline antisklerootiline efekt. See tuleb eriti ilmekalt esile võimlemisharjutuste sooritamisel. Samas aga jäävad tervise tugevnemise aluseks olevad teised muutused tagasihoidlikuks. Kui aga võimlemisharjutusi sooritatakse nonstop-meetodil 30 - 45 min vältel, järgides aeroobika põhinõudeid, siis on sellise aeroobvõimlemisega saavutatavad nii võimlemisele kui vastupidavusharjutustele omased tulemused.

Kehalised harjutused annavad positiivse tulemuse, kui neid sooritatakse vähemalt kolm korda nädalas. Siis peab harjutamiskorra kestuseks olema 45 min. Harjutades 4 - 6 korda nädalas, on võimalik vähendada harjutamiskorra kestust 15 - 30 minutini, saavutades ikkagi treeninguefekti. Organismi kohanemisel treeningukoormuse ühe tasemega tuleb seda suurendada. Eriti keske ja vanemaelistel on otstarbekam koormust suurendada kestust tõstes, mitte harjutuste intensiivsust kõrgendades. Harjutuse intensiivsuse miinimumiks on tase, mis kutsub esile südame löögisageduse üle 130 löögi minutis. Harjutades tervise tugevdamiseks, pole otstarbekad pingutusintensiivsused, mis viivad südame löögisageduse üle 170 löögi minutis ja põhjustavad laktaadi kuhjumise verre.

Vananedes väheneb südame löögisageduse tööpuhune tõus. Otstarbeka koormusintensiivsuse leidmiseks rahvaspordi harrastamise esimestel aastatel kasutada järgmist valemit.

Südame löögisagedus harjutamisel = 170 - vanus.

SISUKORD

BESSONA	3
BIOKEEMIA	4
Elutegevusprotsesside füüsikalis-keemilised alused	6
FUSIOLOOGIA	17
Ainevahetus	17
Energiavahetus	21
Liigutusaparaat	23
Sisesekretsioon	28
Veri	34
Südame ja veresoonkonna talitlus	37
Seedimine	45
Hingamine	47
Erituselundite talitlus	52
Termoregulatsioon	54
Kesknärvisüsteemi füsioloogia	56
Kõrgem närvitalitlus	60
Kehaliste harjutuste ja spordialade füsio- loogiline klassifikatsioon	62
Erineva võimsusega tsüklilise lihastegevuse füsioloogiline iseloomustus	65
Sportliku saavutusvõime füsioloogilised alused	67
Sportlik saavutusvõime väliskeskkonna eri tingimustes	70
Sportimisel tekkivate seisundite füsio- loogiline iseloomustus	74
Emotsioonide mõju töövõimele, selle füsio- loogiline mehhanism	76
Treenitusseisundi füsioloogiline ise- loomustus	78

ОСНОВНЫЕ ЗНАНИЯ ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ.

Учебный материал для студентов медицинского факультета.

Составители Атко В и р у и др.

На эстонском языке.

Тартуский университет.

ЭССР, 202400, г.Тарту, ул.Еликооли, 18.

Vastutav toimetaja T. Matsin.

Korrektor L. Jago.

Paljundamisele antud 19.07.1989.

Formaat 60x84/16.

Rotaatoripaber.

Masinakiri. Rotaprint.

Tingtrükipoognaid 4,88.

Arvestuspoognaid 5,36. Trükipoognaid 5,25.

Trükiarv 500.

Tell. nr. 540.

Hind 20 kop.

TÜ trükikoda. ENSV, 202400 Tartu, Tiigi t. 78.

20 kop.